Bordeaux 1977

économie
publique
de l'aménagement
et des transports

10

collection dirigée par alain bonnafous et pierre henri derycke

raymond lang

train ou automobile !

les choix de l'usager

Publié avec le concours du Ministère des Universités

1977

economica

Collection : Economie publique de l'aménagement et des transports
dirigée par Alain Bonnafous et Pierre-Henri Derycke

Raymond Lang
Docteur ès Sciences Economiques

TRAIN OU AUTOMOBILE !

LES CHOIX DE L'USAGER

ECONOMICA
49, rue Héricart, 75015 Paris

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

© Ed. ECONOMICA, 1980

Tous droits de reproduction, de traduction, d'adaptation et d'exécution réservés pour tous pays.

"Je sais que je ne sais pas ce que je ne sais pas ; j'envie ceux qui sauront davantage, mais je sais qu'ils auront tout comme moi à mesurer, peser, déduire et se méfier des déductions produites, faire dans le faux la part du vrai, et tenir compte dans le vrai de l'éternelle admixtion du faux."

Marguerite YOURCENAR

"L'Oeuvre au noir"
Gallimard, Paris, 1968, page 118

INTRODUCTION

1 - ACTUALITE, ORIGINALITE ET INTERET DU CHOIX ENTRE LE TRAIN ET L'AUTOMOBILE

Les transports ont toujours été un peu ignorés des économistes. On peut se demander si c'est volontairement, parce que les problèmes qu'ils posent sont très complexes ou s'il ne faut pas en trouver la raison dans le fait qu'ils sont considérés comme une activité secondaire de l'homme. Il est vraisemblable que la première interprétation prime la seconde car il suffit de relire l'histoire de l'Homme pour s'apercevoir que les changements les plus marquants ont souvent été la conséquence d'améliorations ou de bouleversements des conditions de transports. De nombreuses inventions ont eu pour but de trouver de nouveaux modes de transports plus rapides, plus puissants. La découverte de la force de la vapeur appliquée aux bateaux et surtout aux chemins de fer a été, à la fois, le produit et le moteur de la révolution industrielle du XIXème siècle. Récemment, le développement de la voiture et des transports aériens a ouvert les portes à la civilisation des loisirs. Le développement massif de l'automobile apparaît comme l'un des problèmes les plus importants de ces dernières années, mais aussi pour les années futures en raison de l'ampleur des modifications qu'il entraîne sur le cadre de vie.

Il y a un siècle à peine la France connaissait encore une civilisation à dominante rurale ; la plupart des individus entretenaient des relations professionnelles, personnelles, familiales dans un champ géographiquement restreint. Mais l'industrialisation et les transformations structurelles qui l'accompagnèrent allaient provoquer un besoin de déplacement sans cesse croissant. C'est d'abord le chemin de fer qui a cherché à satisfaire ce nouveau besoin en se développant au détriment de la route. Celle-ci était alors un peu délaissée par les Pouvoirs Publics qui consacraient l'essentiel de l'effort d'équipement à la mise en place du réseau ferroviaire.

L'avènement de l'automobile allait redonner un nouvel essor à la route à tel point qu'on pouvait se demander au cours des années 1920-1930 si le transport ferroviaire n'était pas condamné, en particulier dans le domaine des transports de voyageurs, ainsi que l'indiquait l'évolution des transports aux Etats-Unis. Même si la France connaît un léger retard par rapport à ce pays son parc automobile croît rapidement : de 337 000 véhicules en 1920 il passe à plus de deux millions en 1938 et compte aujourd'hui plus de seize millions d'unités.

Cette motorisation, rapide surtout depuis la fin de la deuxième guerre mondiale provoque d'importantes modifications sur le marché des transports et en particulier elle transforme le monopole des transports terrestres que détenait le chemin de fer en monopole technique concurrencé.

En 1973 un événement brutal redonne une acuité nouvelle au problème des choix entre le train et l'automobile. En effet le quadruplement du prix du pétrole brut se traduit par d'importantes modifications du rapport des coûts énergétiques des deux modes. En 1974 la circulation automobile se stabilise et ne reprend sa croissance que dix-huit mois plus tard ; au contraire le trafic ferroviaire de voyageurs continue de progresser rapidement à un taux de croissance voisin de 6 % par an et ne connaît de ralentissement qu'en 1976. La crise de l'énergie atteint donc différemment les deux modes de transport et il est indéniable que cette différence résulte en grande partie du choc psychologique consécutif à la hausse soudaine du prix des carburants de l'automobile alors

que le prix du voyage ferroviaire demeure stable, notamment d'ailleurs parce que les Pouvoirs Publics retardent les augmentations tarifaires demandées par la SNCF. Les Pouvoirs Publics interviennent donc indirectement sur le choix des usagers.

Mais les Pouvoirs Publics exercent une action plus contraignante encore car ils sont les détenteurs de la responsabilité suprême en matière d'infrastructure tant routière que ferroviaire et dans ce domaine les décisions sont lourdes de conséquences de par l'importance, la rigidité et la longévité des équipements. Les transports sont un domaine d'intervention privilégié de l'Etat non seulement parce que les sommes mises en jeu s'accroissent continuellement mais aussi parce que les transports conditionnent de plus en plus le niveau de l'activité économique. Si le besoin de déplacement d'un point à un autre peut être qualifié de naturel on doit reconnaître également que chaque type de société suscite et oriente de façon spécifique ces besoins. L'intervention grandissante de l'Etat ne peut donc méconnaître les besoins des individus, et ce d'autant moins que les infrastructures de transport ont un coût de plus en plus élevé et engagent l'avenir pour de longues périodes. L'étude des composantes de la demande est nécessaire à un triple point de vue : satisfaire les besoins, moduler la demande, promouvoir une politique globale du transport.

Contrairement aux besoins privés les préférences en matière de transport ne se révèlent guère au niveau du marché. A la limite, les individus n'ont pas intérêt à expliciter leur préférence tant que le service, telle la route, est assuré publiquement. La demande de transport peut s'appréhender à deux niveaux extrêmes. Par comptage on peut évaluer les déplacements et donner au niveau national des approximations du besoin de transport par simple extrapolation des tendances passées. A un stade plus élaboré, on effectuera les prévisions à l'aide de données macro-économiques. Cette méthode présente l'avantage de la simplicité mais aussi l'inconvénient de méconnaître les besoins individuels à l'origine de ces flux de trafic. A l'opposé, la demande de transport peut s'analyser au niveau de chaque individu grâce à des enquêtes précises et détaillées. Les besoins individuels, alors mieux connus, sont susceptibles d'être mieux satisfaits ; cependant de telles méthodes sont lourdes à mettre en oeuvre et n'offrent pas de résultat directement intéressant pour le responsable de la politique des transports. Mais cet inconvénient peut être pallié si l'on arrive à constituer sur la base de l'analyse des besoins individuels des groupes homogènes importants à partir desquels des analyses approfondies fourniront des résultats à la fois précis et opérationnels.

Il ne s'agit pas de se cantonner à l'étude des demandes individuelles en vue uniquement de les satisfaire, une telle attitude conduirait alors par l'intermédiaire d'effets externes mal maîtrisés aux mêmes inconvénients que l'économie de marché (1). Face à l'ensemble des besoins de transport que l'on peut considérer comme illimités, la Puissance Publique doit être capable de prévoir l'impact de certaines variables d'action, en particulier la tarification, afin de moduler les préférences individuelles en fonction des contraintes de l'offre. D'autre part, étant donné le rôle structurant des infrastructures, on ne cherchera que rarement à les adapter à la demande immédiate. Tant pour moduler la demande que pour projeter les effets structurants il faut en passer par une connaissance détaillée de la demande.

---

(1) Comme en témoigne le développement du réseau routier aux Etats-Unis.

Un siècle durant et jusqu'à la seconde guerre mondiale les compagnies ferroviaires ont quasiment détenu le monopole du transport de voyageurs interurbain. De nos jours le chemin de fer est concurrencé par l'automobile et par l'avion. Certes les techniques utilisées sont différentes mais le service fourni est quelquefois parfaitement substituable, de telle sorte qu'une harmonisation des conditions de concurrence s'avère nécessaire. A l'issue d'une vaste étude menée conjointement avec différents responsables des transports français, Monsieur NGUYEN TIEN PHUC conclut : "le transport n'est jamais une fin en soi mais il est de plus en plus un puissant moyen d'assurer le développement économique harmonieux d'une nation et de l'intégrer pour lui permettre de jouer son rôle dans la structure économique mondiale" (1). Si les modes de transport sont devenus concurrents, ils peuvent et doivent être complémentaires ; le but à atteindre est clairement défini par l'article 7 du 5 juillet 1949 : "les transports par fer, par route, par mer et par air devront être coordonnés et harmonisés de manière à assurer :

- les besoins des usagers ;

- la mise à la disposition de l'économie du pays, dans les conditions les plus avantageuses, de l'ensemble des moyens de transport dont elle peut avoir besoin, en quantité et en qualité ;

- l'utilisation du mode de transport qui, compte tenu de la valeur des services rendus aux usagers et des servitudes imposées par la condition de service public, entraîne pour la nation le coût de production réel minimum (...)".

C'est dans l'optique de proposer au responsable de la politique de transport un outil qui permette de mieux approcher ce triple objectif que cette recherche a été entreprise sur le choix entre le rail et la route.

2 - PLAN DE L'ETUDE

Cette recherche se limite au choix entre deux modes, le train et l'automobile, dans le domaine des transports interurbains à moyenne distance en France. Bien que ces deux modes aient vocation à fournir un service de transport, une distinction fondamentale s'impose ; le transport automobile exige la disposition d'un bien privé par nature, utilisé sur une infrastructure qui présente tous les caractères d'un bien public divisible alors que le transport ferroviaire se révèle de nature plutôt privée puisque le principe d'exclusion par les prix y est couramment pratiqué. Mais il s'agit ici d'une position théorique normative que ne confirme pas la réalité puisque les transports ont toujours été un domaine privilégié d'intervention de l'Etat. Préalablement à l'investigation économétrique une approche théorique du choix du mode de transport s'impose car seule elle permet d'expliquer la logique profonde du phénomène. Il ne s'agit pas toutefois d'établir des théorèmes logiquement vrais mais de les confronter à la réalité. Tout au long de l'étude on considère le choix comme le résultat d'un processus décisionnel individuel.

---

(1) NGUYEN TIEN PHUC. "Pour une politique économique de transports". Eyrolles. Paris 1972 page 444.

Objet de la première partie

Choisir entre deux modes de transport ne peut s'analyser comme un simple choix entre deux biens. Certes, toute décision de consommation suppose en général, à un moment quelconque qui à la limite peut être indéfiniment repoussé, une immobilisation de temps réservé à la consommation. Mais l'activité de transport oblige, pour parvenir au niveau d'activité souhaité, à combiner étroitement le bien et le temps. Or l'atemporalité sous-entendue par la théorie classique ne convient pas à l'analyse des problèmes de transport. C'est pourquoi au modèle de choix de biens est préférable un modèle de choix d'activités, chaque activité résultant d'une combinaison de biens et de temps. Rejetant l'interprétation ancienne selon laquelle le temps ne serait qu'un attribut d'un bien économique, on considère le temps comme un bien très particulier que sa rareté absolue empêche de considérer comme un bien libre ; ce n'est pas non plus un bien marchand car il ne s'acquiert sur aucun marché ; les échanges possibles ne portent que sur son emploi, sans aucune prise sur le stock de chaque contractant. Le temps est aussi une source de satisfaction, à la rigueur indépendamment de tout bien. Finalement, apparu à la fois comme contrainte et source de satisfaction, le temps est introduit comme tout autre bien.

Dans une optique purement productiviste on montre que la seule composante qui doit orienter le choix du voyageur est la valeur que l'individu accorde au temps. Mais cette optique rencontre très vite des limites. Qu'en est-il du voyageur qui choisit le mode de transport à la fois le moins rapide et le plus cher ? Plutôt que de rejeter systématiquement un tel comportement dans le domaine de l'irrationnel on préfère déceler des insuffisances dans la fonction d'utilité, ce qui conduit à aborder sous l'angle théorique l'influence du confort et du motif sur le comportement du voyageur.

Sans remettre en cause l'individualité du processus de décision, on ne conçoit pas le voyageur comme un acteur isolé sur la scène économique. Le développement économique et social a produit dans les sociétés industrielles des structures favorisant la mobilité générale de la population. Le chemin de fer, puis l'automobile et l'avion ont contribué à satisfaire ce besoin croissant, mais l'automobile a été le mode privilégié d'apprentissage de la mobilité. Symbole du progrès technique au profit de l'individu elle a toujours traduit la puissance sociale. La diffusion massive de l'automobile, associée à la crise de l'énergie, tend à lui faire perdre sa connotation de signe social. En outre les contraintes d'usage de l'automobile, limitation de vitesse, port de la ceinture de sécurité, mais plus encore l'encombrement des voies de circulation donnent un caractère de plus en plus collectif à l'utilisation de l'automobile en contradiction avec le support d'individualisme qu'elle constitue.

Toujours dans le domaine psychosociologique, le risque mérite une analyse particulière car il a la singularité de compromettre l'issue du voyage. Sous cet aspect l'automobile fait figure de désastre social, s'opposant radicalement au train auquel est attachée une auréole de sécurité. En situant les deux modes à un niveau de service comparable, l'analyse statistique confirme cette appréciation.

Sans constituer le facteur décisif de l'urbanisation, le développement des modes de transport en modèle indéniablement les formes.

Par sa nature de transport collectif, le chemin de fer tend à développer un tissu urbain dense le long de ses axes et autour des gares tandis que l'automobile favorise plutôt un habitat diffus. L'automobile pose actuellement des problèmes aigus, non seulement dans les vieilles cités dont la structure ne correspond pas à la circulation contemporaine, mais même dans les villes qui se sont développées en même temps que le parc automobile. Les difficultés de circulation ont pour effet de modifier l'attitude vis-à-vis de l'automobile : on observe une forte démotorisation dans le coeur des grandes agglomérations nullement due à une structure particulière d'âge et de revenu. A l'opposé, on constate une forte surmotorisation des zones périphériques récemment urbanisées. Il n'est pas douteux que l'accroissement de la vitesse des moyens de transport et leur généralisation contribue à l'élargissement spatial des villes. L'urbanisation contemporaine à la fois diffuse et tentaculaire n'apparaît pas à l'analyse spécialement favorable au choix de la voiture.

Objet de la deuxième partie

Il convient alors de rechercher ou de forger les outils aptes à relier l'approche théorique aux faits observés. Ce sont d'abord des raisonnements analogiques à ceux de la physique qui ont servi de fondements aux premiers modèles. En effet, la célèbre équation gravitaire de NEWTON a donné naissance à des modèles dont le but est d'analyser le trafic total ou le trafic d'un mode. On utilise des données macro-économiques qui caractérisent les zones reliées et pour lesquelles on définit des variables d'attraction, et des données propres au système de transport qui déterminent le facteur d'impédance, c'est-à-dire une quantité améliorée de la distance dans l'équation de NEWTON. De nombreuses tentatives ont cherché à améliorer les variables d'attraction ou le facteur d'impédance mais en ce domaine les efforts sont demeurés vains. D'autres efforts portent sur la répartition modale du trafic global et sur la recherche de substitution de trafic. Enfin le trafic global peut être considéré comme la résultante de toutes les demandes individuelles ; la possibilité de formuler une demande individuelle à partir d'hypothèses de comportement du voyageur est examinée ainsi que la possibilité d'agrégation des demandes individuelles pour retrouver l'expression du flux de trafic. Les analyses microéconométriques ont une ambition plus limitée, leur but est uniquement d'analyser le choix observé et non de restituer des flux de trafic. Le choix du mode de transport est analysé en termes probabilistes et l'on recherche la fonction de probabilité qui fournit la meilleure explication des choix effectivement observés. Au terme de cette revue, on est en mesure d'apprécier l'aptitude de ces différents outils à une application. Partant directement du voyageur et cherchant à extraire toutes les variables influentes, les analyses microéconométriques paraissent plus fécondes et mieux en accord avec l'approche théorique, c'est pourquoi elles constituent le support de l'analyse de la concurrence rail-route sur les relations interurbaines françaises, objet de la troisième partie.

Objet de la troisième partie

Des résultats d'un vaste programme d'enquêtes réalisé sous l'égide du Service des Affaires Economiques et Internationales du Ministère de l'Equipement en 1967, 1968 et 1969, est extrait un échantillon de 5 000 individus sur 13 relations Paris - ville de province dont la distance est comprise entre 130 et 600 kilomètres. Dans le fichier résultant de la fusion des enquêtes ferroviaires et routières on distingue les variables issues directement des enquêtes de celles qui ont été construites.

Etablir la structure de la concurrence rail-route, c'est rechercher les axes fondamentaux qui orientent le choix du voyageur entre deux modes. La localisation du domicile et surtout le revenu font apparaître un fort pouvoir explicatif : ils forment au niveau de l'individu les éléments fondamentaux de la prédétermination du choix. De la prédétermination de l'individu, on passe à la détermination induite par les caractéristiques du voyage, à ce niveau la taille du groupe en voyage et la distance sont les éléments prépondérants. L'influence de ces variables exprime une préférence à l'égard d'une situation d'offre, mais celle-ci n'intervient pas explicitement dans le modèle, elle est traitée comme une donnée.

On intègre ensuite de façon explicite les données de l'offre de transport. A l'issue de deux études préliminaires portant sur le choix du mode de transport terminal, on est en mesure d'affecter à chaque voyage, à côté du temps et du coût de transport de l'alternative choisie, un temps et un coût de transport fictifs qui représentent l'alternative délaissée. Le choix entre le train et la voiture ne manifeste pas de grandes sensibilités aux variations des temps et des coûts de transports, mais suffisantes pour qu'on cherche à calculer des valeurs de gains de temps, comme le suggère l'analyse théorique, à partir de courbes d'isoprobabilité.

PREMIÈRE PARTIE

ANALYSE ÉCONOMIQUE DU COMPORTEMENT DU VOYAGEUR

Deux temps bien différenciés marquent l'étude théorique du comportement du voyageur. Dans la première approche on essaie de faire ressortir tous les éléments objectifs susceptibles d'orienter les choix individuels. Des insuffisances de l'approche traditionnelle en raison notamment de la prise de conscience tardive de l'importance du temps de consommation, conduisent à présenter des modèles qui, s'appuyant sur des développements récents de la théorie du comportement mettent en évidence les différentes composantes du choix au niveau individuel.

Dans la seconde approche on analyse les différentes influences que le cadre environnemental imprime au voyageur. On dégage d'abord des éléments subjectifs en faisant ressortir différentes motivations qui inclinent le choix vers l'un ou l'autre mode. Les différents modes de transport engendrent des risques qui même s'ils sont perçus de façon subjective constituent un élément objectif non négligeable quoique difficile à cerner. Mais l'influence de l'environnement ne saurait se limiter à ces aspects psychologiques attachés à la subjectivité des choix. De façon plus ou moins liée au système de transport, un système économique est à l'origine de développements et de mutations qui conditionnent indirectement mais objectivement les comportements. C'est pourquoi nous avons analysé l'interaction entre l'urbanisation et le développement des deux modes de transport, ainsi que l'influence de l'évolution des revenus et de l'âge sur la motorisation et le trafic ferroviaire.

CHAPITRE I

ÉTUDE MICROÉCONOMIQUE

Le problème fondamental que soulève la concurrence entre le train et la voiture réside dans le choix de l'individu. A une époque donnée, une personne éprouve le besoin ou le désir de voyager ; or, pour satisfaire ce besoin ou désir, il existe de nombreux moyens parmi lesquels l'individu doit faire un choix. C'est à l'aspect théorique de ce choix que nous nous intéresserons en en mettant en lumière les principales composantes.

C'est un truisme de dire que toute activité de consommation prend du temps ; or à notre époque la croissance économique exprimée par l'importance et la diversification sans cesse accrue de la consommation fait du temps un bien rare. Bien que ne pouvant faire l'objet d'aucun échange direct, le temps n'en a pas moins une certaine valeur dont on dégagera le rôle déterminant dans le choix du mode de transport.

Déjà en 1934, ROSENSTEIN-RODAN (1) écrivait que le temps n'avait pas été étudié par la théorie économique, mais il prévoyait que son étude constituerait l'une des principales tâches de l'économie future. Le terme "TEMPS" écrivait-il, peut recouvrir des réalités fort différentes : il peut s'agir de la période au cours de laquelle se déroule l'activité économique, ou bien d'un élément du processus dynamique d'évolution ou bien encore d'un bien qu'il est nécessaire de répartir entre diverses activités. Les deux premiers problèmes ont fait l'objet de nombreuses recherches alors que le dernier, domaine de notre étude, a été très peu abordé.

L'étude traditionnelle consistait à dire que l'utilité du consommateur était fonction des quantités consommées. Or, pour comprendre le choix du consommateur entre deux modes de transport, la prise en compte des quantités ne suffit pas ; en effet, si pour de nombreuses activités on peut négliger qu'elles se déroulent dans le temps, cela n'est plus possible en ce qui concerne le transport où le temps joue un rôle primordial. Il s'avère donc nécessaire d'introduire le temps de transport dans la fonction d'utilité.

---

(1) ROSENSTEIN-RODAN. "The Role of Time in Economic Theory". Economica. février 1934, pages 77 à 97.

I - L'INSUFFISANCE DE L'APPROCHE TRADITIONNELLE

1 - L'INTRODUCTION TARDIVE DE LA CONTRAINTE DE TEMPS

LINDER (1) dans son excellent ouvrage "The Harried Leisure Class" a relevé trois sortes de raisons pour expliquer le désintérêt des économistes pour l'étude de la répartition du temps entre les diverses activités. La première, de nature historique, nous paraît la plus fondamentale, les deux autres, également justifiées, sont plutôt présentées pour soutenir les principales idées émises dans son oeuvre.

Lorsque les premiers économistes ont commencé à étudier les tensions nées de la rareté, ils n'ont pas vu que le temps pouvait être un bien rare ; à cette époque, la rareté la plus apparente était celle des biens matériels. Dans ces conditions, il est normal que les théories qui se sont développées aient négligé le temps. Celui-ci était traité implicitement comme un bien libre dont on disposait en abondance. Mais, depuis cette époque, l'accroissement de la productivité a permis de multiplier la production, en particulier des biens de consommation. La rareté des biens ne se pose pas en termes aussi aigus à notre époque qu'au siècle précédent, au moins dans les régions les plus développées. Par contre, les incitations à la consommation deviennent toujours plus nombreuses ; or, comme toute activité réclame du temps, celui-ci devient de plus en plus rare, d'autant plus rare que le consommateur doit faire un choix parmi des possibilités de plus en plus variées et que ce choix réclame lui aussi de plus en plus de temps. Ainsi les conditions de l'activité humaine se sont modifiées si profondément que la simple négligence du siècle précédent est devenue une lacune fondamentale dans la théorie économique.

Selon LINDER, deux autres raisons peuvent expliquer cette négligence. La première serait le résultat d'une interprétation erronée de la croissance économique : les économistes ont peut-être cru que, puisque la production demande de moins en moins de temps, l'individu disposerait de plus en plus de temps. Cette interprétation, explique LINDER, est inexacte car elle ne s'intéresse qu'à une activité partielle de l'homme, son activité de production ; or, le gain de temps dans la production est bien faible par rapport au supplément de temps qu'exigent les incitations nouvelles à la consommation. Ainsi, bien que paradoxal, il n'en est pas moins vrai que, tout en s'accroissant, le temps de consommation devient de plus en plus rare.

Enfin, la troisième raison de l'indifférence aux problèmes de temps viendrait d'une méprise sur l'évolution de la civilisation : on a pu croire que la vie idéale serait consacrée, de la manière la plus complète possible, aux arts et aux lettres et que l'accroissement de la productivité, ayant pour résultat de fournir des biens en abondance tout en libérant du temps, permettrait l'évolution vers cet idéal. En fait, les économistes n'ont pas discerné que la consommation de biens matériels allait devenir le symbole de notre société.

---

(1) S.B. LINDER "The Harried Leisure Class". Columbia U.P. New-York. 1970.

Ces trois raisons sans doute ont contribué à expliquer le fait que la répartition du temps ait été un problème longtemps négligé. Cependant, surtout depuis ROSENSTEIN-RODAN, quelques tentatives sont apparues pour définir le temps et l'intégrer dans l'analyse économique.

Selon ROSENSTEIN-RODAN (1), G. SULZER est le seul économiste qui ait reconnu explicitement que toute consommation coûte du temps, et il avait déjà en 1895 établi les conditions d'équilibre qui correspondent à la disposition de temps en vue de la consommation. Il définissait le temps comme un bien complémentaire des autres biens matériels, mais, comme le fait justement remarquer Ph. CAZENAVE (2), il ne peut s'agir pour lui d'une "complémentarité au sens économique en termes d'élasticités croisées". Dans cette perspective, le temps est considéré comme un élément, un attribut d'un bien économique ; il est déjà pris en compte quand on évalue son utilité.

ROSENSTEIN-RODAN critique cette conception en distinguant deux sortes de temps : le temps coût de consommation pour lequel il reprend la définition de SULZER, et le temps de loisir dont il considère qu'il est un bien en lui-même. L'analyse de ROSENSTEIN-RODAN permet de montrer que le temps est un bien économique. A son tour VUARIDEL (3) critique fortement la conception de ROSENSTEIN-RODAN en déniant au temps sa rareté essentielle : "La rareté du temps ne peut manifestement pas être fondée sur les considérations aussi objectives et si peu relatives telles que la vie est courte, les journées n'ont que vingt-quatre heures".

Dès lors VUARIDEL dénie au temps le caractère de bien économique parce qu'il refuse de le considérer comme un bien indépendant : le temps pour lui-même ne peut faire l'objet d'un choix. En reprenant l'argumentation de ROSENSTEIN-RODAN, il affirme que, dès qu'une activité réclame du temps, celui-ci devient un bien joint ; selon lui "il n'est pas raisonnable d'envisager un emploi du temps sans celui d'un bien quelconque, sauf à désincarner le sujet" (4). Cette conclusion nous semble beaucoup trop systématique, voire même contradictoire. En effet, dans ce même article, il souligne que l'"utilité d'un bien peut être fonction du temps et qu'elle peut devenir nulle" (5). Ceci montre bien que si, dans le cas général, le temps est un bien dépendant, c'est le plus souvent lui qui est à l'origine du choix, indépendamment du bien considéré. Ainsi, dans la plupart des activités de loisirs, le bien matériel n'est que le support du temps qui lui est le bien essentiel. C'est la période dont on dispose pour les loisirs qui est le facteur déterminant dans le choix du type de loisir. C'est essentiellement à travers du temps que l'on cherche à maximiser sa satisfaction.

A la différence de VUARIDEL, nous ne conclurons pas que "la rareté intrinsèque du temps repose sur un postulat arbitraire". Les deux analyses, celle de ROSENSTEIN-RODAN et celle du VUARIDEL, loin de s'exclure comme le pense ce dernier, sont au contraire complémentaires.

---

(1) ROSENSTEIN-RODAN. op. cit. page 85.

(2) Ph. CAZENAVE. "Valeur économique du temps et théorie de la demande". Revue Economique n° 5, 1971.

(3) R. VUARIDEL. "Le temps et l'espace dans le comportement économique". Revue Economique 1959, p. 809 à 837.

(4) R. VUARIDEL. op. cit. p. 821.

(5) R. VUARIDEL. op. cit. p. 815.

ROSENSTEIN-RODAN a mis en évidence la rareté absolue du temps : le temps ne pourra jamais être un bien abondant. VUARIDEL lui, a mis en évidence la rareté relative du temps : celle-ci s'interprète de manière subjective en fonction du désir individuel d'activité.

2 - LES PREMIERES MODELISATIONS ET LEUR APPLICATION DANS LE DOMAINE DES TRANSPORTS

L'idée que le temps est une contrainte a été reprise par J. LESOURNE (1) dans son ouvrage en 1964 ; il considère que la satisfaction du consommateur dépend non seulement des quantités consommées, mais aussi du temps passé à la consommation. Dans la seconde édition de son ouvrage, il développe un modèle en faisant plusieurs hypothèses.

Il introduit tout d'abord le temps comme contrainte objective et ensuite également en tant qu'élément de satisfaction en lui-même. Ceci lui permet d'énoncer que "pour des consommations données, la satisfaction marginale procurée par un accroissement du temps de consommation est la même quel que soit le bien consommé. Elle est proportionnelle à la valeur du temps pour l'individu considéré" (2).

Enfin, il pose les conditions d'un troisième modèle dans lequel la valeur du temps dépend de l'instant considéré ; ce résultat sera contesté au cours de notre analyse du temps dans laquelle nous montrerons que la valeur marginale du temps est constante et que ce sont les composantes de la valeur du temps qui se modifient en fonction de l'activité que l'on exerce.

OORT (3) a utilisé un modèle théorique de même nature que celui de LESOURNE et il a procédé en deux étapes. Dans la première, il suppose que chaque individu peut approximativement ajuster la longueur de son temps de travail de telle manière qu'il maximise son bien-être subjectif et dans ces conditions une réduction du temps de voyage est équivalente à un accroissement du temps disponible pour le travail et pour le loisir. La seconde étape consiste à laisser tomber ces hypothèses et à considérer les conséquences des rigidités dans la semaine de travail, ainsi que celles de la possibilité d'une perception positive ou négative de l'utilité du temps de voyage.

OORT considère la fonction d'utilité suivante :

(I.1) $U = U(t_w, t_v, Y)$

où :

U = l'utilité de l'individu

t_w = la quantité de temps de travail

t_v = la quantité de temps de loisir

Y = le revenu monétaire.

---

(1) J. LESOURNE. "Le Calcul économique". Dunod. 1ère édition 1964. 2ème édition 1972. Paris.

(2) J. LESOURNE (1972). op. cit. p. 46.

(3) C.J. OORT. "The Evaluation of Travelling Time". Journal of Transport Economics and Policy. septembre 1969 p. 279 à 286.

Naturellement, les variables t_w, t_v et Y ne sont pas indépendantes, en particulier si on considère le temps passé dans les activités autres que le loisir et le travail (manger, dormir, voyager...) comme une constante, alors t_w et t_v plus cette constante constituent le temps global disponible. De même, en notant par p le taux de salaire, le revenu est égal au produit du temps de travail par p. L'individu cherche à maximiser son utilité sous les deux contraintes de temps et de revenu.

(I.2) $t_v + t_w = T$ temps total disponible pour le loisir et le travail

(I.3) $Y = p\, t_w$

En introduisant μ et λ les multiplicateurs de LAGRANGE, et en posant les conditions nécessaires pour que U passe par un maximum on parvient à l'équation :

(I.4) $$\frac{\delta U}{\delta t_v} = p \cdot \frac{\delta U}{\delta Y} + \frac{\delta U}{\delta t_w}$$

Elle exprime que l'utilité marginale de loisir est égale à l'utilité marginale de revenu obtenu à la suite d'un travail, plus l'utilité du temps de travail. OORT appelle cette somme le bénéfice marginal net du travail pour le distinguer de l'utilité marginale du travail en temps que telle. Cette conclusion est différente de celle à laquelle sont parvenus HENDERSON et QUANDT (1), d'après lesquels le taux de substitution du revenu pour le temps de loisir était égal au taux de salaire ; cette conclusion n'est correcte, selon OORT, qu'à deux conditions : il faut que l'utilité marginale du revenu soit égale à l'unité et que l'utilité marginale du travail soit nulle.

OORT considère ensuite un accroissement marginal de T le temps total disponible et il montre que la valeur d'un accroissement marginal dans le temps total disponible à l'individu est égale à l'utilité marginale du temps de loisir ou au bénéfice marginal net du travail. OORT pose que le temps de transport est un paramètre fixé de manière exogène ; alors, écrit-il, on peut considérer qu'un accroissement marginal dans le temps total disponible peut résulter d'une réduction du temps de transport et si l'on considère que le voyage n'a aucune utilité, il s'ensuit que :

$$-\frac{dU}{dt_R} = \frac{dU}{dT}$$ t_R : temps de voyage

L'utilité d'une réduction du temps de transport est égale à l'utilité marginale du temps de loisir ou au bénéfice net marginal du travail.

Mais OORT conclut qu'on ne peut pas donner une évaluation objective de la réduction du temps de transport en termes monétaires,

---

(1) J.M. HENDERSON et R.E. QUANDT, "Microeconomic Theory", Mc Graw Hill, New-York, Toronto et Londres, 1958, traduction française, "Microeconomie", Dunod. Paris. 1967.

car celui-ci ne s'échange pas sur un marché. De même, on ne peut pas connaître la valeur du temps de loisir ni celle de la désutilité du travail car il n'y a aucun moyen d'observer directement ces valeurs.

En considérant ensuite les rigidités légales de la durée du travail OORT affirme qu'un individu ne peut ajuster son temps de travail selon ses préférences. Il n'y a aucun individu, dit-il, qui travaille moins qu'il ne le souhaite mais il y en a qui peuvent travailler plus qu'ils ne souhaitent. Ces derniers auront alors une valeur du temps de loisir supérieure au bénéfice marginal net du travail : la valeur d'une réduction du temps de transport est donc au moins égale au bénéfice marginal net du travail.

Enfin en posant que la plupart des gens, sauf ceux qui voyagent dans le seul but de voyager, souhaitent toujours une réduction du temps de transport, OORT montre que la valeur d'une réduction du temps de transport est supérieure à la valeur du temps de loisir ; la différence est égale à la désutilité spécifique du voyage.

L'analyse présentée par OORT a le grand mérite de montrer les différentes composantes de la valeur du temps et de montrer les difficultés qu'il y a à mesurer cette valeur. Cependant, l'hypothèse que le temps de transport est une donnée est peu réaliste et présente un inconvénient majeur qui contredit l'une des conclusions à laquelle OORT avait abouti. En posant que le temps de transport est une donnée exogène, OORT supposait implicitement qu'une personne n'a pas le choix entre plusieurs modes de transport et, par conséquent, il ne pouvait pas voir que le transport peut donner lieu à une substitution entre du temps et de l'argent. Il n'y a pas échange de temps sur un marché, mais il peut y avoir échange entre du temps et de l'argent.

Mac GILLIVRAY (1) (2) suppose que les décisions en matière de transport et de logement sont séparées de celles concernant les autres biens et qu'elles sont prises en deux étapes. L'individu prend d'abord une décision dans le long terme et fixe la somme qu'il va dépenser globalement en automobile, transport urbain et surface de logement. Ensuite, il répartira cette dépense entre ces trois catégories de biens. En courte période, la décision du choix du mode dépendra de la disponibilité des transports en commun et de la voiture ainsi que de leurs coûts respectifs.

Dans ces conditions, Mac GILLIVRAY considère la fonction d'utilité suivante (3) :

(I.5) $U = U(R, C, S, T)$

où :
U = Fonction d'utilité ordinale
R = Quantités de transport urbain
C = Possession ou disposition d'une voiture
S = Espace résidentiel
T = Temps de loisir

---

(1) Mac GILLIVRAY, R.G. "Binary Choice of Urban Transport Mode in the San Francisco Bay Region". Ph.dissertation, Department of Economics. University of California, mai 1970.

(2) Mac GILLIVRAY, R.G. "Demand and Choice Models of Modal Split". Journal of Transport Economics and Policy. May 1970. p. 192 à 207.

(3) Mac GILLIVRAY. Thèse citée, p. 1.

L'individu cherche à maximiser son utilité sous la contrainte de revenu suivante :

$$(1.6) \qquad Y_1 = P_a R + P_b (1-R) + P_c C + P_s S + P_t T$$

où :

Y_1 = la part de revenu consacrée par l'individu à l'ensemble de biens défini plus haut

P_a, P_b, P_c, P_s et P_t sont les prix respectifs de ces biens

R : prend la valeur 1 si, pour un voyage donné, c'est la voiture qui est choisie, la valeur 0, si c'est le transport en commun.

La voiture sera choisie lorsque

$$U_a (R, C, S, T) > U_b (R, C, S, T)$$

Ensuite, au prix de nombreuses hypothèses, il écrit que la voiture sera choisie si :

$$(1.7) \qquad U_a \left(\frac{P_b}{P_a}, \frac{T_b}{T_a}, C, P_s S, Y\right) > U_b \left(\frac{P_b}{P_a}, \frac{T_b}{T_a}, C, P_s S, Y\right)$$

Il parvient alors à conclure que, si la valeur du temps est la même lorsqu'on voyage avec l'un ou l'autre mode et si, pour un voyage donné, un mode de transport est à la fois plus rapide et moins cher que l'autre, ce mode doit être choisi. C'est pour tester ce résultat théorique que Mac GILLIVRAY a employé l'analyse discriminante (1).

---

(1) Voir Chapitre IV, Section I.

II - LA VALEUR DU TEMPS ÉLÉMENT ESSENTIEL DU CHOIX DU MODE DE TRANSPORT

1 - L'INTERET DE L'APPROCHE DE BECKER

LESOURNE, puis OORT et Mac GILLIVRAY ont eu le grand mérite de modéliser le comportement du consommateur, le premier dans le cadre d'une théorie générale de la consommation, les seconds dans le domaine de la demande de transport. Malheureusement, aucun n'a retenu l'apport de VUARIDEL qui montrait la nécessité de prendre en compte l'activité de l'individu. Cependant, VUARIDEL n'a pas assez approfondi cette notion d'activité, ce qui l'a conduit à nier tout caractère de bien économique au temps. Il faudra attendre la publication de l'article de BECKER en 1965 pour que cette notion d'activité soit introduite dans la théorie de la consommation (1).

Son originalité est de considérer le ménage comme une unité de production. Il suppose que le ménage combine du temps et des biens pour produire, ce qu'il appelle des "more basic commodities". Il donne comme exemple de "commodity" : voir un match, dormir. Mais il faut bien reconnaître, comme le souligne Ph. CAZENAVE, que l'expression de "commodity" est assez obscure. Les quelques exemples donnés par l'auteur semblent indiquer qu'il s'agit d'activités, comme l'interprète F.X. de DONNEA (2). Nous ne pensons pas trahir la pensée de l'auteur en reprenant cette interprétation. Le temps et les biens n'ont d'utilité que dans la mesure où ils permettent d'atteindre un certain niveau d'activité. Les consommateurs sont alors supposés à la recherche du maximum de satisfaction.

$$(I.8) \qquad U = U(Z_1, \ldots, Z_i, \ldots, Z_n)$$

$$= U\left[f_1(x_1, t_1), \ldots, f_i(x_i, t_i), \ldots, f_m(x_m, t_m)\right]$$

sous la contrainte de revenu

$$(I.9) \qquad \sum_{i=1}^{m} p_i x_i = V + w\, T_w$$

et sous la contrainte de temps

$$(I.10) \qquad \sum_{i=1}^{m} t_i = T - T_w$$

Z_i est le niveau d'activité i

x_i le vecteur des biens employés dans l'activité i

p_i le vecteur des prix unitaires

T_w le temps de travail

V le revenu non monétaire.

---

(1) G.S. BECKER. "A Theory of the Allocation of Time". The Economic Journal. septembre 1965. p. 493-517.

(2) F.X. DE DONNEA. "The Determinants of Transport Mode choixe in Dutch Cities". Rotterdam University Press. Rotterdam. 1971. 230 pages. p. 6.

Cependant, BECKER fait remarquer qu'il n'y a en fait qu'une seule contrainte, car les deux contraintes ne sont pas indépendantes puisque le temps peut être converti en biens, en utilisant moins de temps à la consommation et plus de temps au travail. Ainsi, en remplaçant T_w dans (I.9) par sa valeur dans (I.10) on obtient la contrainte unique :

$$\Sigma\, p_i\, x_i + \Sigma\, t_i\, \bar{w} = V + T\, \bar{w}$$

Les fonctions de production peuvent s'écrire sous la forme suivante :

$$T_i = t_i\, Z_i$$

$$x_i = b_i\, Z_i$$

où t_i est un vecteur donnant le facteur temps par unité de Z_i et b_i est un vecteur similaire pour les biens. La contrainte peut alors s'écrire :

$$(I.11) \qquad \Sigma\, (p_i\, b_i + t_i\, \bar{w})\, Z_i = V + T\, \bar{w}$$

L'expression $(p_i\, b_i + t_i\, \bar{w})$ représente le prix complet (the full price) d'une unité de l'activité Z_i ; c'est la somme des prix des biens et du temps utilisés par unité de Z_i.

Le membre de droite de l'équation représente la source de contrainte, c'est le revenu maximum théorique que l'on puisse obtenir ; si $\bar{w}$ est constant, il est indépendant de Z_i. Ce revenu est dépensé en activité Z_i, soit directement en consommant des biens, soit indirectement en renonçant à un revenu, c'est-à-dire en passant du temps à la consommation plutôt qu'au travail. On observe ainsi que dans les pays riches, des ménages renoncent à un revenu monétaire pour obtenir une utilité additionnelle supplémentaire, ils échangent un revenu monétaire contre un "revenu psychique".

Les équations d'équilibre s'écrivent très simplement :

$$(I.12) \qquad U_i = \frac{\delta U}{\delta Z_i} = \lambda\, \pi_i$$

où λ est l'utilité marginale du revenu. Cette équation indique qu'un ménage qui maximise son utilité doit faire en sorte que l'utilité marginale de l'activité Z_i soit égale au produit du prix complet de cette activité par l'utilité marginale que le ménage accorde au revenu.

BECKER se place ensuite dans un cadre général où le revenu par unité de temps $\bar{w}$ n'est plus constant. La contrainte s'écrit alors :

$$(I.13) \qquad S = \Sigma\, p_i\, b_i\, Z_i + L\, (Z_1, \ldots, Z_n)$$

$L\, (Z_1, \ldots, Z_n)$ représente l'ensemble du revenu monétaire sacrifié ; ce revenu est fonction des Z_i car le revenu auquel on renonce dépend de l'ensemble de consommation que l'on choisit.

Dans ce cas plus général, les conditions d'équilibre s'écrivent :

$$(I.14) \quad U_i = \frac{\delta U}{\delta Z_i} = \lambda (p_i b_i + L_i)$$

où $L_i = \frac{\delta L}{\delta Z_i}$

Nous ne disposons plus d'une expression simple du prix moyen de Z_i ; $p_i b_i$ représente la composante directe, L_i la composante indirecte. Cependant, on peut remarquer que :

$$(I.15) \quad L_i = \frac{\delta L}{\delta T_i} \times \frac{\delta T_i}{\delta Z_i} + \frac{\delta L}{\delta x_i} \times \frac{\delta x_i}{\delta Z_i}$$

$$= \ell_i t_i + c_i b_i$$

ℓ_i est le revenu marginal auquel on a renoncé pour consommer plus de temps

c_i est le revenu marginal auquel on a renoncé pour consommer plus de biens.

On peut alors écrire les conditions d'équilibre sous la forme suivante :

$$U_i = \frac{\delta U}{\delta Z_i} = \lambda \left[b_i (p_i + c_i) + t_i \ell_i\right]$$

Le coût marginal d'une activité Z_i est la somme de $b_i (p_i+c_i)$, le coût marginal de l'utilisation des biens dans la production de Z_i, et de $t_i \ell_i$ le coût marginal de l'utilisation du temps. Cette expression serait équivalente à (I.12) si c_i était nul, c'est-à-dire s'il n'y avait aucun coût indirect d'utilisation des biens.

La présentation de BECKER ne se limite pas à une présentation mathématique plus complexe ; c'est une reformulation de la théorie de la consommation qui place sur le même plan les biens (ou services) et le temps, considéré lui aussi comme un bien économique. Cette nouvelle formulation a permis d'approfondir certains problèmes économiques récents comme le loisir, la croissance et les transports.

2 - LA VALEUR DU TEMPS FACTEUR DE PRODUCTION

En partant de l'idée fondamentale de BECKER selon laquelle l'individu est un producteur d'activités et que sa satisfaction dépend du niveau d'activité qu'il a pu obtenir par une certaine combinaison de biens et de temps, nous proposons un modèle destiné à montrer que la valeur du temps est un élément fondamental du choix du mode de transport. Ce premier modèle fait appel à la perception la plus immédiate du temps : toute activité humaine se déroule dans le temps et il existe des éléments comme le temps et l'argent qui créent des liens d'interdépendance entre toutes les activités tels qu'on n'a pas le droit de les envisager séparément. C'est pourquoi à l'appellation traditionnelle de modèle de comportement du consommateur, nous préférons celle de choix d'activités.

21 - Les hypothèses du modèle

Tout au long de l'ouvrage, nous supposons en effet que l'individu n'a pas d'autres ressources que son salaire, ce qui signifie que toute somme perçue l'est à la suite d'un travail effectué. Cette hypothèse s'impose dans notre étude parce qu'il est nécessaire de considérer que toute acquisition de revenu a supposé une certaine mobilisation de temps. Or, il est difficile d'admettre que le profit perçu sous forme de dividende et la rente sont des formes de revenus qui ont une contrepartie temporelle. Cette hypothèse n'est toutefois pas très restrictive dans la mesure où aujourd'hui, l'essentiel des revenus pour la majorité des individus est constitué par un salaire.

Dans ce modèle, nous supposons que l'individu n'est pas capable d'ajuster la longueur de son temps de travail au cours d'une période donnée selon ses préférences, ce qui signifie que le temps de travail est fixé à l'avance. Cette hypothèse est conforme à la réalité ; elle lui est surtout conforme dans le court terme où l'individu n'a pas de moyen d'action sur son temps de travail.

Enfin, on fait l'hypothèse que l'utilité est fonction du niveau de toutes les activités. On peut regrouper ces activités en deux grandes catégories : les activités de production, d'une part, les activités de consommation, d'autre part. On range dans les premières toutes celles dont le but est de percevoir un revenu ; comme on a fait l'hypothèse qu'il ne pouvait avoir que la forme d'un salaire, on élimine des activités de production toutes celles qui n'ont pas à l'origine un travail fourni. Dans le second groupe, on range toutes les autres activités. On définira donc comme une activité de consommation toute activité dont le but n'est pas la perception d'un revenu à la suite d'un travail.

Compte tenu de ces hypothèses et en considérant que l'individu n'a qu'une seule activité de production (1), la fonction d'utilité peut s'écrire :

$$(1.16) \qquad U = U\left[A_w\,(X_{wk},\ t_w),\ \ldots,\ A_i\,(X_{ik},\ t_i)\right]$$

où

A_w = l'activité de production

X_{wk} = le bien k utilisé dans l'activité de production

t_w = le temps de l'activité de production

A_i = la i ième activité de consommation

avec $i = 1$ à $i = n$
$k = 1$ à $k = m$

Dans le modèle, le temps n'a donc pas d'utilité en soi ; il ne sert que comme facteur de production dans une activité donnée. De plus, comme nous avons supposé que l'individu ne pouvait faire varier son temps de travail, t_w sera une constante. Les biens ou services nécessaires à

---

(1) Même s'il en était autrement, cela ne modifierait pas les conclusions et ne changerait en rien la généralité du modèle.

son travail sont offerts par son employeur, ils constituent donc une variable exogène. On peut alors écrire la fonction d'utilité sous la forme suivante :

$$U \left[A_i \left(X_{ik}, t_i \right) \right] \qquad \begin{matrix} i = 1 \text{ à } n \\ k = 1 \text{ à } m \end{matrix} \tag{I.17}$$

Cette simplification signifie que l'utilité de l'activité de production est considérée comme constante. Cette hypothèse est d'autant plus réaliste si l'on se situe en courte période où les conditions de travail sont déterminées de façon exogène par l'employeur, la clientèle et la législation du travail. Dans la courte période, il apparaît donc justifié d'analyser séparément l'activité de production et les activités de consommation.

22 - Les équations d'équilibre du modèle

L'individu va chercher à rendre maximum son utilité, mais dans cet objectif il va se heurter à deux contraintes, la contrainte traditionnelle du revenu et la contrainte du temps.

La contrainte du revenu, comme dans la plupart des modèles, suppose que l'individu consacre tout son revenu à l'achat des biens et services nécessaires à la production de toutes ses activités de consommation. On ne tiendra pas compte de l'épargne de façon explicite, de toute façon, il n'y a aucune difficulté à la considérer comme une consommation future. La contrainte de revenu s'écrit alors :

$$Y = \sum_{k=1}^{m} \sum_{i=1}^{n} P_k X_{ik} \tag{I.18}$$

où P_k représente le prix unitaire du bien ou service k employé.

La contrainte de temps peut s'exprimer sous la forme suivante :

$$T_c = \sum_{i=1}^{n} t_i \tag{I.19}$$

avec $T_c = T - T_w$

Pour une période déterminée (la semaine, le mois, l'année) le temps total de consommation est une donnée qui se déduit de la différence entre deux constantes : le temps de la période envisagée et le temps consacré à l'activité de production.

On forme la traditionnelle équation de LAGRANGE à partir de la fonction d'utilité et des deux contraintes en introduisant deux nouvelles inconnues λ et μ, les multiplicateurs de LAGRANGE associés à chacune des contraintes :

$$V = U \left[A_i \left(X_{ik}, t_i \right) \right] + \lambda \left[Y - \sum_{k=1}^{m} \sum_{i=1}^{n} P_k X_{ik} \right] + \mu \left[T_c - \sum_{i=1}^{n} t_i \right] \tag{I.20}$$

Dans la plupart des problèmes, λ et μ ont une signification ; nous allons donc essayer de la préciser dans le cadre de ce modèle en nous servant d'un résultat connu : λ représente l'utilité marginale de l'argent (1). Cette notion d'utilité marginale de l'argent peut se définir comme l'accroissement d'utilité provoqué par une unité monétaire supplémentaire ; on peut donc très facilement assimiler l'utilité marginale de l'argent à l'utilité marginale du revenu, qui en tenant compte des conditions d'équilibre peut s'écrire :

$$(I.21) \qquad \frac{dU}{dY} = \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{k=1}^{m} \lambda P_k \, d X_{ik} + \sum_{i=1}^{n} \mu \, d t_i}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{k=1}^{m} P_k \, d X_{ik}}$$

Dans la mesure où le temps ne réclame, pour être consommé, aucune somme d'argent, il est logique de faire l'hypothèse que la variation d'utilité obtenue à la suite de la perception d'une unité supplémentaire de revenu sera provoquée par les différents achats possibles en biens ou services que permettra cette unité supplémentaire ; nous supposerons que la variation marginale de revenu n'entraînera aucune modification dans la répartition du temps de consommation :

$$d t_i = 0 \qquad \forall_i$$

Dans ces conditions nous obtenons :

$$(I.22) \qquad \frac{dU}{dY} = \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{k=1}^{m} \lambda P_k \, d X_{ik}}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{k=1}^{m} P_k \, d X_{ik}} = \lambda$$

Ainsi λ apparaît bien comme l'utilité marginale du revenu dans la mesure où une infime variation de revenu ne provoque aucune nouvelle répartition du temps entre les diverses activités de consommation.

De la même manière, nous allons vérifier que μ est l'utilité marginale du temps :

$$(I.23) \qquad \frac{dU}{dT_c} = \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{k=1}^{m} \frac{\delta U}{\delta A_i} \times \frac{\delta A_i}{\delta X_{ik}} d X_{ik} + \sum \frac{\delta U}{\delta A_i} \times \frac{\delta A_i}{\delta t_i} d t_i}{\sum_{i=1}^{n} d t_i}$$

En supposant maintenant que l'accroissement d'utilité provoqué par une unité supplémentaire de temps de consommation ne résultera pas d'une modification de la répartition des biens et services c'est-à-dire en posant $d X_{ik} = 0$ et en utilisant les équations caractérisant les conditions d'équilibre on peut écrire :

---

(1) J.M. HENDERSON et R.E. QUANDT, op. cit. p. 27.

(I.24)
$$\frac{dU}{dT_c} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \mu \, d\,t_i}{\sum_{i=1}^{n} d\,t_i} = \mu$$

μ représente donc bien l'utilité marginale du temps. Cependant, la méthode qui nous a permis de mettre en évidence ce résultat est contradictoire avec l'hypothèse faite sur la constance de T_c qui impliquerait que :

$$dT_c = \sum_{i=1}^{n} d\,t_i = 0$$

En fait, les calculs qui sont faits n'ont pour but que de montrer la signification économique des multiplicateurs de LAGRANGE ; il suffit de considérer une variation infiniment petite du temps de consommation pour que l'on se rapproche des conditions du modèle.

La signification économique des multiplicateurs de LAGRANGE était absolument indispensable pour pouvoir interpréter les équations d'équilibre.

L'utilité marginale d'un bien ou service est égale à l'utilité marginale de l'argent multipliée par le prix du bien ou service.

(I.25)
$$\frac{\delta U}{\delta A_i} \times \frac{\delta A_i}{\delta X_{ik}} = \frac{\delta U}{\delta A_j} \times \frac{\delta A_j}{\delta X_{jk}} = \lambda P_k$$

Cette utilité doit être la même dans toutes les activités.

De la même manière, l'utilité marginale du temps doit être la même dans toutes les activités. S'il n'en était pas ainsi, l'individu aurait intérêt à réduire les activités où le temps a la plus faible utilité pour se consacrer plus longtemps aux activités où il a la plus grande utilité. Ainsi, l'utilité marginale pour l'individu qui part en vacances doit être la même lorsqu'il part travailler, la même lorsqu'il mange ou dort.

23 - La valeur du temps

Dépassons ce concept d'utilité pour faire apparaître une notion nouvelle : la valeur que l'individu attribue au temps. De façon plus ou moins consciente, chaque individu accorde une certaine valeur au temps qui passe. Elle peut se noter par le rapport : $\frac{dY}{dt}$ où dt représente l'unité de temps ; c'est la variation de revenu imputable à une variation de temps. On vérifie que ce rapport $\frac{dY}{dt}$ est égal au rapport de la valeur marginale du temps sur la valeur marginale de l'argent :

(I.26)
$$\frac{\mu}{\lambda} = \frac{\frac{dU}{dt}}{\frac{dU}{dY}} = \frac{dU}{dt} \times \frac{dY}{dU} = \frac{dY}{dt}$$

En fait, ce rapport ne peut être égal à $\frac{\mu}{\lambda}$ que sous les conditions que nous avons déjà précisées précédemment lors de la mise en évidence de la signification économique de μ et λ. Ces conditions étant très plausibles, dans tout le reste de l'étude le rapport $\frac{\mu}{\lambda}$ désignera la valeur qu'un individu accorde au temps.

Dégageons ce rapport à l'aide des équations d'équilibre :

(I.27)
$$\frac{\frac{\delta U}{\delta A_i} \times \frac{\delta A_i}{\delta t_i}}{\frac{\delta U}{\delta A_i} \frac{\delta A_i}{\delta X_{ik}}} = \frac{\mu}{\lambda P_k}$$

Le premier membre de cette équation est égal au rapport des utilités marginales et c'est un résultat bien connu de l'analyse traditionnelle que le rapport des utilités marginales est égal au taux marginal de substitution entre ces deux biens. La vérification en est d'ailleurs très simple. Le taux de substitution se définit pour une utilité constante, ce que l'on note par dU = 0. Par transformation on obtient :

(I.28)
$$\frac{\frac{\delta U}{\delta A_i} \times \frac{\delta A_i}{\delta t_i}}{\frac{\delta U}{\delta A_l} \times \frac{\delta A_l}{\delta X_{ik}}} = -\frac{d X_{ik}}{d t_i}$$

$-\frac{d X_{ik}}{d t_l}$ est le taux de substitution entre un bien ou service et le temps employé dans une activité donnée, tel que la substitution ne modifie pas l'utilité du consommateur.

Mais le premier membre de l'équation peut s'interpréter différemment si l'on effectue la simplification par $\frac{\delta U}{\delta A_l}$

Cette équation s'écrit alors :

(I.29)
$$\frac{\frac{\delta A_i}{\delta t_i}}{\frac{\delta A_i}{\delta X_{ik}}} = \frac{\mu}{\lambda P_k}$$

Le premier membre apparaît ici comme le rapport des productivités marginales du temps et du bien ou service k dans l'activité i. C'est un autre résultat bien connu de l'analyse traditionnelle que le taux de substitution technique entre deux facteurs est égal au rapport de leurs productivités marginales.

Dans le cadre de notre modèle, on constate que le taux de substitution technique est égal au taux de substitution entre biens, c'est-à-dire que le rapport des utilités marginales est égal au rapport des productivités marginales. Au point d'équilibre, c'est-à-dire lorsque l'individu a réussi à rendre son utilité maximum sous les deux contraintes de temps et de revenu, les deux taux de substitution sont égaux au rapport :

$$\frac{\mu}{\lambda P_k}$$

En transformant cette équation, on obtient une équation fondamentale où la valeur du temps est égale au taux de substitution que multiplie le prix du bien ou service employé :

$$(I.30) \quad -\frac{d X_{ik}}{d t_i} P_k = \frac{\mu}{\lambda}$$

Cette équation signifie que la valeur du temps est égale au supplément de coût qu'accepte de payer un individu pour économiser une unité de temps. $d X_{ik} P_k$ représente en effet le coût supplémentaire de l'emploi du bien ou service X_{ik} nécessaire pour atteindre le même niveau d'activité lorsqu'on a supprimé une unité de temps.

Ce résultat peut être généralisé à l'ensemble des activités et des biens employés en écrivant :

$$(I.31) \quad -\frac{d X_{ik}}{d t_i} P_k = -\frac{d X_{j\ell}}{d t_j} P_\ell = \frac{\mu}{\lambda}$$

La signification économique de cette équation est évidente : un individu rationnel répartit son temps entre les différentes activités de façon à ce que la valeur marginale du temps soit la même dans chacune d'elles. Ce modèle fait donc apparaître une propriété fondamentale du temps : sa valeur marginale est une constante. Ce résultat fondamental mérite cependant une attention particulière. Il faut préciser que ce modèle analyse le comportement de l'individu dans une période déterminée, qu'il est important de définir. La durée de cette période est une perception propre à l'individu et telle qu'il puisse avoir en sa possession toutes les données de prévision. Par exemple, la stabilité de l'emploi est un facteur important dans la détermination de cette perception. C'est dans le cadre d'une telle période qu'est perçue la valeur du temps.

Bien sûr, des événements imprévus et imprévisibles peuvent toujours survenir, modifiant la valeur du temps et, par suite, le choix des activités. Par exemple, lorsqu'une personne en vacances apprend qu'un événement grave est survenu dans sa famille, elle peut accepter de renoncer à ses vacances et choisir, pour regagner son domicile, un mode de transport plus rapide et plus cher que celui qu'elle avait envisagé d'utiliser.

Notre modèle nous a permis de déterminer que la valeur du temps était une constante au cours d'une période donnée. Mais l'équation fondamentale laisse supposer que la valeur du temps peut être aussi bien négative que positive. Elle sera positive si $d X_{ik}$ et $d t_i$ sont de signes contraires ; le bien ou service k et le temps sont alors deux biens substituables dans l'activité i considérée. Elle sera négative lorsque $d X_{ik}$ et $d t_i$ sont de même signe ; le temps et le bien ou service k sont alors deux biens complémentaires dans l'activité i. Il faudra un peu plus du même bien ou service si l'on utilise une unité supplémentaire de temps pour conserver la même valeur du temps. Ce résultat est fort critiquable, du moins l'interprétation que nous en avons faite : est-il raisonnable de poser une valeur du temps négative ?

Il semble, en effet, qu'une personne qui accorderait une valeur négative au temps qui passe devrait, si elle était rationnelle, abréger sa vie le plus rapidement possible. Plutôt que d'aboutir à une conclusion aussi pessimiste et négative, il est préférable de préciser les conditions d'application du modèle et de cerner de plus près la notion de valeur du temps.

Reprenons l'équation fondamentale :

$$\frac{\mu}{\lambda} = - \frac{d X_{ik}}{d t_i} P_k$$

et donnons à X_{ik} un contenu plus concret. Supposons que X_{ik} soit un mode de transport employé par un individu pour se rendre d'un point à un autre. La valeur du temps de l'individu apparaît comme le supplément de coût qu'il accepte de payer pour économiser une unité de temps.

Selon ce modèle, tout individu qui choisirait le train, en l'occurrence le mode à la fois le plus cher et le moins rapide, aurait un comportement inexplicable. Alors, au lieu d'admettre que certains individus sont irrationnels parce qu'ils se comportent comme s'ils avaient une valeur du temps négative, nous poserons que toute personne dont le rapport $\frac{d X_{ik}}{d t_i}$ est positif a un comportement qui ne correspond pas au modèle présenté. Cette conclusion nous amène à poser un postulat : la valeur du temps pour un individu rationnel doit être positive. Cela ne signifie pas qu'il n'existe pas de personne qui ait une valeur du temps négative, mais que celles-ci sont exclues de notre étude ; leur comportement rationnel étant de mettre fin à leur vie, il n'y a pas lieu de les considérer ici.

Dans le cadre de ce premier modèle, le postulat nous oblige à considérer le temps et le bien comme deux facteurs substituables dans l'activité i. En d'autres termes, cela signifie que, si l'on emploie un peu plus de temps dans une activité, on aura besoin d'un peu moins de biens ou services pour conserver le même niveau d'activité et la même utilité. Cette substitution se retrouve dans de nombreuses activités de transport. Par exemple, une personne, pour aller de son domicile à son lieu de travail, peut avoir le choix entre la marche à pied, la bicyclette, l'autobus ou la voiture. Le passage de la marche à pied à la bicyclette implique un usage accru de biens de transport mais, en même temps, une réduction du temps pour atteindre le même but. Cette substitution entre le temps et le bien ou service se retrouve dans toute activité où l'utilisation du bien ne présente pas d'intérêt en soi.

3 - L'ANALYSE DE GRONAU

A partir de la formulation de BECKER, GRONAU construit d'abord un modèle général semblable à celui de BECKER pour faire apparaître des résultats qui seront ensuite utiles dans un modèle spécifique de la demande de transport.

La démarche originale de GRONAU est de considérer l'activité de transport comme une activité intermédiaire nécessaire à la réalisation

d'une autre activité qui serait finale. On ne voyage pas pour voyager, mais pour accomplir certaines activités au lieu de destination du voyage. Cette activité finale, GRONAU l'appelle une "visite" ; sa demande est fonction du temps qu'elle réclame et des divers autres services qu'on peut utiliser à cette occasion, mais elle est aussi fonction de l'utilité directe des divers modes et de leur contribution à la réalisation de la "visite".

Il applique alors le résultat de son modèle général (le prix total d'une activité i est égal à son coût marginal de production ; celui-ci se décompose en deux termes : une composante monétaire et une composante temporelle) à un modèle spécifique de demande de transport et montre que le prix total du voyage est égal au coût en monnaie et en temps du voyage moins la valeur monétaire de l'utilité marginale du voyage. GRONAU considère ensuite qu'un accroissement du prix du voyage aura des conséquences sur l'ensemble des composantes de la visite. Il cite comme exemple, le fait qu'un accroissement du prix du voyage incite les voyageurs à prolonger leur séjour et à réduire le nombre de leurs voyages. Or, le prix d'un voyage dépend directement de la distance ; on peut s'attendre écrit-il, à ce que la durée du séjour et la distance du voyage soient positivement corrélées.

Un autre facteur va affecter, selon GRONAU, la demande de transport : l'élasticité de substitution entre les divers modes dans la réalisation de l'activité i. En appliquant la formule de son modèle général, il écrit que le taux de substitution technique entre deux modes de transport, pour le voyageur qui maximise son utilité, doit être égal à leur prix relatif, montrant ainsi que le prix d'un voyage est égal au coût monétaire, plus la valeur monétaire du temps du voyage, moins la valeur monétaire que l'individu accorde à l'utilité directe de son voyage par le mode choisi. Cette utilité directe est liée à la disponibilité du mode, son prestige, sa sécurité, ... Lorsque cette valeur devient très grande, le prix total d'un voyage peut devenir négatif.

Mais devant la difficulté de mesurer la valeur monétaire de l'utilité directe d'un mode de transport, GRONAU suppose que celle-ci est nulle.

Alors le prix total du voyage pour le mode A peut s'écrire :

$$\pi_A = P_A + K\,T_A$$

et le voyageur choisira le mode A si $\pi_A < \pi_B$

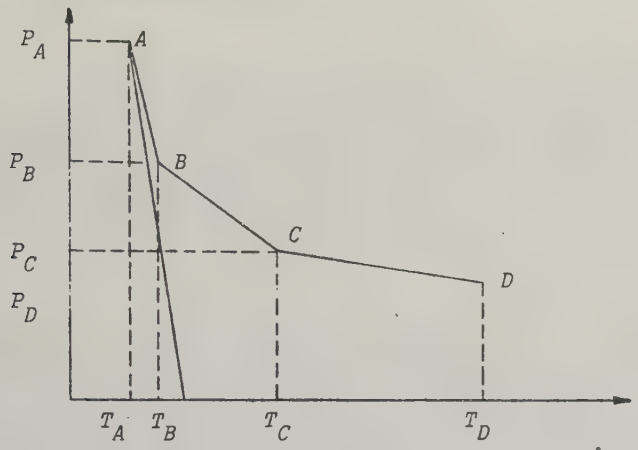
où

P_A est le coût monétaire du voyage par le mode A

T_A est le temps de transport par le mode A

$K = \frac{\mu}{\lambda}$ représente la valeur du temps

En considérant quatre modes de transport, on peut tracer la courbe d'isoquantité de la production de voyage comme suit :



La pente d'un segment reliant deux points représente le taux marginal de substitution technique entre les modes concernés. Le voyageur qui maximise son utilité choisit le mode i tel que :

$$(1.32) \qquad \frac{P_i - P_{i+1}}{T_{i+1} - T_i} = K^*_{i,i+1} < K < K^*_{i-1,i} = \frac{P_{i-1} - P_i}{T_i - T_{i-1}}$$

où

$T_i > T_{i-1}$

$P_i < P_{i-1}$

Sur le graphique, il préfère le mode A au mode B puisque :

$$K > \frac{P_A - P_B}{T_A - T_B} = K^*_{AB}$$

K^*_{AB} représente ce qu'on a appelé la valeur d'indifférence. Cette valeur dépend de la longueur du voyage.

L'originalité de GRONAU consiste à poser que le prix et le temps d'un voyage déterminé sont liés de façon linéaire à la distance. Pour un mode i quelconque, il pose :

$$T_i = \alpha_{0i} + \alpha_{1i} M$$

$$P_i = \beta_{0i} + \beta_{1i} M$$

où M représente la distance.

En posant la valeur du temps K comme une donnée et en considérant M comme la variable, le mode A sera préféré au mode B si on a :

$$(1.33) \qquad M > \frac{(\beta_{0A} - \beta_{0B}) + (\alpha_{0A} - \alpha_{0B}) K}{(\beta_{1B} - \beta_{1A}) + (\alpha_{1B} - \alpha_{1A}) K} = M^*$$

M^* est la distance de passage du mode B au mode A.

GRONAU a ensuite considéré l'ensemble des concurrences possibles entre les différents modes de transport en commun sur le marché américain (avion - train, avion - autocar, train - autocar). Il parvient ainsi à montrer que le marché des voyages au-dessous de 135 miles se répartit entre l'autocar, qui attire les voyageurs à faible valeur du temps, et le train, qui assure le transport des voyageurs à valeur du temps élevée. Au-delà de 135 miles, la concurrence de l'avion devient effective et s'exerce surtout vis-à-vis du train. Au-delà de 176 miles, le marché se répartit entre l'avion que prennent les voyageurs à haut revenu (sous-entendu à valeur du temps élevée) et l'autocar qui conserve les voyageurs à faible valeur du temps.

L'analyse de GRONAU est particulièrement intéressante ; toutefois, on peut formuler quelques réserves en premier lieu sur l'hypothèse de linéarité du temps et des coûts en fonction de la distance. Il nous semble que si cette hypothèse est justifiée en ce qui concerne les coûts, il n'en est vraisemblablement pas de même du temps de transport qui, en plus de la distance, dépend de la qualité du réseau, de la densité du trafic, quel que soit le mode de transport envisagé. La deuxième réserve que nous formulerons au sujet du modèle de GRONAU s'adresse à sa conception du voyage. En ne le considérant que comme une activité intermédiaire, il se limite à certains types de voyages sans doute de loin les plus nombreux, mais il risque ainsi de ne pas comprendre certains comportements qui ne correspondent pas à ces types de voyage.

III - PROLONGEMENTS AU MODÈLE DE BECKER

Ignoré au siècle précédent par la théorie économique, le temps est ainsi devenu un élément essentiel et indispensable de celle-ci. Son introduction a permis de reformuler la théorie du consommateur en faisant dépendre l'utilité de celui-ci, non pas de la quantité de biens consommés, mais du niveau d'activité atteint grâce à une combinaison de biens et de temps.

Mais les modèles inspirés de BECKER analysant le choix du mode de transport n'expliquent jusqu'ici le comportement des individus que dans un cadre restreint : le mode de transport et le temps ne présentent aucun intérêt en eux-mêmes mais uniquement en ce qu'ils permettent d'accomplir une certaine activité, en l'occurrence aller d'un point à un autre. Ces conditions limitent le champ d'application de ces modèles. Il est vraisemblable qu'il existe un certain nombre d'individus qui acceptent de payer plus cher un mode moins rapide, c'est-à-dire des individus qui acceptent de perdre simultanément du temps et de l'argent. Pour eux, le temps ne doit plus être considéré comme un simple facteur de production, ils attachent une certaine utilité à la satisfaction qu'ils retirent des conditions dans lesquelles ils passent leur temps. Pour autant l'importance de caractéristiques modales autres que le temps et le coût, que l'on peut regrouper sous l'aspect de confort au sens large, ne doit pas être négligé. Enfin, en situant les activités des individus en longue période il est possible d'établir un lien entre le revenu et la valeur du temps.

1 - LE TEMPS COMME FACTEUR AUTONOME DE SATISFACTION

11 - Les hypothèses du modèle

Les hypothèses du modèle et les équations d'équilibre sont identiques à celles du premier modèle présenté par F.X. de DONNEA (1). Mais, en raison du postulat que nous avons énoncé, nous parviendrons à des conclusions légèrement différentes et plus complètes sur le rôle de la valeur du temps dans le choix du mode de transport.

Comme dans le modèle précédent, on considère que la seule forme de revenu d'une personne est son salaire et qu'elle ne peut ajuster la longueur de son temps de travail selon ses préférences ; nous nous situons encore dans le cadre de la courte période, il est donc possible de ne considérer que les activités de consommation.

Ce modèle se distingue du premier parce que le niveau d'activité n'est plus seul à déterminer le niveau d'utilité ; on introduit dans la fonction d'utilité, un nouvel élément qui dépend uniquement du temps passé dans l'activité considérée :

---

(1) F.X. de DONNEA. op. cit. pages 9 à 17.

$$(I.34) \qquad U = U\left[A_1, L(t_1), \ldots, A_i, L(t_i), \ldots, A_n, L(t_n)\right]$$

où

$$A_i = f(X_{ik}, t_i) \qquad \begin{matrix} i = 1 \text{ à } n \\ k = 1 \text{ à } m \end{matrix}$$

$L(t_i)$ représente la satisfaction ou l'insatisfaction que ressent l'individu des circonstances dans lesquelles il passe son temps dans l'activité i. Cette satisfaction ou insatisfaction ne dépend pas de l'utilité que présente l'activité en elle-même. F.X. de DONNEA donne deux exemples : le temps passé chez le dentiste ou le temps passé dans un métro surchargé présente une utilité, mais il est peu vraisemblable qu'il procure une satisfaction. $L(t_i)$, la satisfaction ou l'insatisfaction ressentie du temps qui passe, est liée à l'activité ; il y a des activités qui sont jugées agréables et d'autres désagréables.

Le temps passé dans n'importe quel moyen de transport dans le seul but d'aller de son lieu de domicile à son lieu de travail n'engendrera que rarement une satisfaction (1). Par contre, le voyage de tourisme est, en principe, une source de plaisir. En introduisant $L(t_i)$ on tient compte en fait du but de l'activité ; lorsque cette activité est une activité de transport, il devient essentiel de considérer le motif du voyage.

L'individu est supposé chercher à rendre maximum son utilité sous les deux contraintes de temps et de revenu définies dans le modèle précédent. On forme donc l'équation de LAGRANGE à l'aide des multiplicateurs λ et μ.

On montrerait aisément, en suivant la même méthode que précédemment, que λ et μ sont respectivement l'utilité marginale de l'argent et l'utilité marginale du temps. Cependant, il faut poser les mêmes conditions, c'est-à-dire qu'une variation de revenu ne saurait faire varier l'utilité que par l'utilisation de nouveaux biens ou services qu'elle permettrait et qu'une variation de temps ne provoquerait une variation d'utilité que par l'emploi supplémentaire de temps consacré à une ou plusieurs autres activités.

A l'équilibre l'utilité marginale d'un bien ou service k, employé dans une activité i, est égale au prix de ce bien ou service multiplié par l'utilité marginale que l'individu accorde à l'argent. L'utilité marginale de ce bien ou service doit être la même quelle que soit l'activité. Cette conclusion ne diffère en rien de celle que nous avons obtenue dans le premier modèle.

Il en est autrement de l'utilité marginale du temps ; celle-ci apparaît comme la somme de deux éléments. L'utilité marginale du temps est égale à l'utilité marginale du temps considéré comme un facteur de production dans une activité, plus l'utilité que procure la satisfaction, ou moins la désutilité que procure l'insatisfaction des circonstances dans lesquelles se déroule l'activité.

---

(1) Certains automobilistes interrogés au cours d'enquêtes considèrent cependant ces trajets comme un des moments agréables de la journée.

12 - La valeur du temps

Lorsque les conditions qui nous permettent d'assimiler λ et μ aux utilités marginales respectives du temps et de l'argent sont réunies, le rapport $\frac{\mu}{\lambda}$ peut alors être assimilé à la valeur que l'individu accorderait au temps. Cette notion est identique à celle du modèle précédent, modèle à partir duquel nous avons établi que la valeur du temps ne pouvait être que positive.

(I.35)
$$\frac{\frac{\delta U}{\delta A_i} \times \frac{\delta A_i}{\delta X_{ik}}}{\frac{\delta U}{\delta A_i} \times \frac{\delta A_i}{\delta t_i} + \frac{\delta U}{\delta L_i} \times \frac{\delta L_i}{\delta t_i}} = \frac{\lambda P_k}{\mu} = \frac{P_k}{\frac{\mu}{\lambda}}$$

Nous obtenons une nouvelle équation qui signifie que le rapport de l'utilité marginale du bien ou service et de l'utilité marginale du temps est égal au rapport du prix du bien ou service et de la valeur du temps que l'on peut appeler le prix du temps. On retrouve alors le résultat bien classique : le rapport des utilités marginales est égal au rapport des prix.

Calculons maintenant les taux marginaux de substitution en distinguant bien celui qu'HENDERSON et QUANDT appellent le taux de substitution entre biens de celui qu'ils appellent le taux de substitution technique. Le taux de substitution entre biens indique l'échange entre le temps et le bien ou service k qui maintient l'utilité de l'individu constante. On pose :

$$dU = 0$$

(I.36)
$$dU = \sum_i \left[\sum_k \frac{\delta U}{\delta A_i} \times \frac{\delta A_i}{\delta X_{ik}} d X_{ik} + \frac{\delta U}{\delta A_i} \times \frac{\delta A_i}{\delta t_i} d t_i + \frac{\delta U}{\delta L} \times \frac{\delta L}{\delta t_i} d t_i \right]$$

En ne considérant la substitution que dans le cas où le temps et le bien ou service sont employés dans la même activité, il est possible de poser :

$$d X_{ik} = 0 \qquad \text{pour tout } i \neq j$$

$$d t_i = 0 \qquad \text{pour tout } i \neq j$$

De plus, on va considérer que dans l'accomplissement de l'activité j seul le bien ℓ est substitué au temps.

$$d X_{ik} = 0 \qquad \text{pour } k \neq \ell$$

Sous ces conditions, la différentielle totale de la fonction d'utilité peut s'écrire :

$$dU = \frac{\delta U}{\delta A_j} \times \frac{\delta A_j}{\delta X_{j\ell}} d X_{j\ell} + \frac{\delta U}{\delta A_j} \times \frac{\delta A_j}{\delta t_j} d t_j + \frac{\delta U}{\delta L_j} \times \frac{\delta L_j}{\delta t_j} d t_j$$

$$0 = \frac{\delta U}{\delta A_j} \times \frac{\delta A_j}{\delta X_{j\ell}} d X_{j\ell} + \left[\frac{\delta U}{\delta A_j} \times \frac{\delta A_j}{\delta t_j} + \frac{\delta U}{\delta L_j} \times \frac{\delta L_j}{\delta t_j} \right] d t_j$$

On obtient alors :

$$(1.37) \qquad \frac{\frac{\delta U}{\delta A_j} \times \frac{\delta A_j}{\delta X_{j\ell}}}{\frac{\delta U}{\delta A_j} \times \frac{\delta A_j}{\delta t_j} + \frac{\delta U}{\delta L_j} \times \frac{\delta L_j}{\delta t_j}} = \frac{d t_j}{d X_{j\ell}}$$

Cette équation est conforme à l'analyse traditionnelle, le taux de substitution entre biens est égal au rapport des utilités marginales. En remplaçant les utilités marginales par μ et λ, on retrouve un autre résultat bien classique : le taux de substitution entre biens est égal au rapport des prix.

$$(1.38) \qquad - \frac{d t_j}{d X_{j\ell}} = \frac{P_\ell}{\frac{\mu}{\lambda}}$$

ce qui peut s'écrire aussi :

$$(1.39) \qquad \frac{\mu}{\lambda} = - P_\ell \frac{d X_{j\ell}}{d t_j}$$

Comme dans le premier modèle, la valeur marginale du temps est égale au supplément de coût qu'accepte de payer l'individu pour économiser une unité de temps. Apparemment, le résultat est identique mais ce n'est qu'apparence ; en effet, l'individu accepte-t-il de payer un coût supplémentaire uniquement pour économiser une unité de temps ? En faisant apparaître le taux de substitution technique, nous allons montrer que ceci n'est qu'un aspect de la substitution.

Par définition, le taux de substitution technique est celui qui permet à l'individu de conserver le même niveau d'activité. On pose :

$$d A_j = 0$$

$$d A_j = \frac{\delta A_j}{\delta X_{j\ell}} d X_{j\ell} + \frac{\delta A_j}{\delta t_j} d t_j$$

On obtient alors :

$$\frac{\frac{\delta A_j}{\delta X_{j\ell}}}{\frac{\delta A_j}{\delta t_j}} = - \frac{d t_j}{d X_{j\ell}}$$

ce qui signifie que le taux de substitution technique est égal au rapport des productivités marginales. Dans ce modèle, il n'y a pas identité entre le taux de substitution entre biens qui maintient l'utilité constante et le taux de substitution technique qui laisse le niveau d'activité inchangé. Nous allons rechercher quelle est la cause de cette divergence et quelle en est la conséquence sur la valeur du temps.

La fonction de production d'activité est la même dans chacun des modèles, les taux de substitution technique sont identiques, il faut donc rechercher la divergence entre les deux taux dans les modifications du taux de substitution entre biens, provoqués par l'introduction des nouvelles hypothèses. Dans le premier modèle nous avions :

$$-\frac{d\,t_j}{d\,X_{j\ell}} = \frac{\frac{\delta U}{\delta A_j} \times \frac{\delta A_j}{\delta X_{j\ell}}}{\frac{\delta U}{\delta A_j} \times \frac{\delta A_j}{\delta t_j}}$$

alors que maintenant nous avons :

$$-\frac{d\,t_j}{d\,X_{j\ell}} = \frac{\frac{\delta U}{\delta A_j} \times \frac{\delta A_j}{\delta X_{j\ell}}}{\frac{\delta U}{\delta A_j} \times \frac{\delta A_j}{\delta t_j} + \frac{\delta U}{\delta L_j} \times \frac{\delta L_j}{\delta t_j}}$$

Les deux taux sont bien égaux au rapport des utilités marginales, mais si l'utilité marginale du bien ou service n'a pas varié, il n'en est pas de même de l'utilité marginale du temps. Comme nous l'avons déjà fait remarquer, l'utilité marginale est égale à la somme de deux éléments : le premier élément est absolument identique à l'utilité marginale du temps du premier modèle, c'est donc le second élément, spécifique du second modèle, qui provoque la divergence entre les deux taux.

Dans le premier modèle, les deux taux de substitution sont identiques parce que l'on considère que le bien ou service et le temps n'ont d'utilité que dans la mesure où ils sont des facteurs de production. Il est donc normal que le rapport des productivités marginales se confonde avec celui des utilités marginales. Mais il ne peut plus en être ainsi si le temps a une utilité propre, indépendante de sa fonction de facteur de production. Il faut donc bien dissocier les deux composantes de l'utilité du temps :

(I.40) $\mu = f_j + \ell_j$

où f_j représente l'utilité marginale du temps en tant que facteur de production

ℓ_j représente l'utilité marginale du temps engendrée par la satisfaction que procure l'ensemble des circonstances dans lesquelles se déroule le temps de l'activité considérée.

En tenant compte de cette simplification d'écriture, la valeur marginale du temps peut se mettre sous la forme :

(I.41) $$\frac{\mu}{\lambda} = \frac{f_j}{\lambda} + \frac{\ell_j}{\lambda} = -\frac{P_\ell\, d\, X_{j\ell}}{d\, t_j}$$

La valeur du temps est égale à la valeur du temps considérée comme un facteur de production, plus la valeur que l'individu accorde aux circonstances dans lesquelles il passe son temps. Mais il serait faux d'interpréter le rapport $-\frac{P_\ell\, d\, X_{j\ell}}{d\, t_j}$ comme le supplément de coût

qu'accepte de payer l'individu pour économiser une unité de temps. Une telle interprétation signifierait que le temps n'est qu'un simple facteur de production qui n'engendre aucune satisfaction par lui-même. Il faut donc se servir du taux de substitution technique pour faire apparaître cette notion de supplément de coût qu'accepte de payer un individu pour économiser une unité de temps. Soit donc le taux de substitution technique :

$$-\frac{d\,t_j}{d\,X_{j\ell}} = \frac{\dfrac{\delta A_j}{\delta X_{j\ell}}}{\dfrac{\delta A_j}{\delta t_j}} = \frac{\dfrac{\delta U}{\delta A_j} \times \dfrac{\delta A_j}{\delta X_{j\ell}}}{\dfrac{\delta U}{\delta A_j} \times \dfrac{\delta A_j}{\delta t_j}}$$

Ce rapport peut s'écrire à l'équilibre :

$$-\frac{d\,t_j}{d\,X_{j\ell}} = \frac{\lambda\, P_\ell}{f_j}$$

soit :
$$\frac{f_j}{\lambda} = \frac{P_\ell\, d\,X_{j\ell}}{d\,t_j}$$

ce qui nous permet d'écrire :

$$\frac{\mu}{\lambda} = -\frac{d\,X_{j\ell}}{d\,t_j} P_\ell + \frac{\ell_j}{\lambda}$$

(I.42) ou
$$\frac{d\,X_{j\ell}}{d\,t_j} P_\ell \quad \frac{\mu}{\lambda} - \frac{\ell_j}{\lambda}$$

Ainsi, ce qu'un individu accepte de payer pour économiser une unité de temps est égal à la valeur qu'il accorde au temps moins la valeur de la satisfaction marginale que lui procurent les conditions dans lesquelles il passe son temps.

Ce résultat théorique fondamental, appliqué au choix du mode de transport, permet de comprendre des comportements que l'on avait jugé irrationnels dans le premier modèle. Avant d'illustrer ce résultat, il est nécessaire d'indiquer sous quelles conditions on a le droit de l'appliquer au choix du mode de transport. Il faut considérer que le bien X_ℓ est le bien "mode de transport" et que $d\,X_{j\ell}$ est une variation de l'emploi de ce bien que l'on peut interpréter de deux façons. Il peut s'agir tout d'abord d'une variation dans l'utilisation d'un mode déterminé : si $d\,X_{j\ell}$ est positif, la personne est supposée utiliser davantage le mode de transport choisi ; X_ℓ représente l'aspect distance parcourue. Il peut aussi s'agir d'un changement de mode tel que si $d\,X_{j\ell}$ est positif, le nouveau mode est intrinsèquement plus cher que l'ancien. Il faut considérer P_ℓ comme le prix d'une unité du bien "mode de transport" de telle sorte que le passage du train à l'avion implique une utilisation d'un plus grand nombre d'unités du bien "mode de transport". Naturellement, notre analyse suppose qu'il existe une infinité de modes de transport parfaitement substituables alors qu'en réalité leur nombre est fini.

Mais le but de nos modèles est moins de reproduire strictement toutes les conditions de la réalité que d'analyser le mécanisme du choix du mode de transport.

Contrairement au modèle précédent, il est maintenant possible d'expliquer le comportement de certaines personnes qui acceptent de payer un coût supplémentaire simultanément avec une perte de temps. Ces personnes sont caractérisées par :

$$(1.43) \qquad -\frac{d X_{j\ell}}{d t_j} P_\ell = \frac{\mu}{\lambda} - \frac{\ell_j}{\lambda} < 0$$

ce qui implique, d'une part, que $d X_{j\ell}$ et $d t_j$ sont de même signe et que, en raison de notre postulat, $\frac{\mu}{\lambda}$ est inférieur à $\frac{\ell_j}{\lambda}$. Ces personnes accordent à la satisfaction qu'elles retirent des conditions dans lesquelles elles passent leur temps, une valeur supérieure à la valeur qu'elles accordent au temps.

Considérons un exemple un peu extrême pour bien mettre en lumière le rôle que peut jouer $\frac{\ell_j}{\lambda}$: supposons qu'une personne vienne juste d'acquérir une voiture neuve ; il est facile d'imaginer cette personne en train d'essayer son nouveau véhicule en faisant un petit voyage dont le point d'origine et le point de destination seraient son domicile. L'utilité du temps en tant que facteur dans l'activité "transport" est nulle puisque, en fait, elle n'avait pas besoin de se déplacer ; par contre, la satisfaction qu'elle retire du temps passé à voyager est très grande, au moins égale à la valeur qu'elle accorde au temps plus le coût de voyage. On observe bien :

$$-\frac{d X_{j\ell}}{d t_j} P_\ell < 0$$

Pour cette personne, la valeur du temps n'est pas négative, elle est seulement inférieure à la valeur qu'elle accorde à la satisfaction de conduire la voiture neuve. En effet, dans ce cas nous avons :

$$\frac{\ell_j}{\lambda} > \frac{\mu}{\lambda}$$

or $$\frac{\mu}{\lambda} = \frac{f_j}{\lambda} + \frac{\ell_j}{\lambda}$$

La différence entre $\frac{\mu}{\lambda}$ et $\frac{\ell_j}{\lambda}$ indique dans ce cas particulier la désutilité du temps comme facteur dans l'activité "transport". Cette valeur est égale à :

$$\frac{d X_{j\ell}}{d t_j} P_\ell$$

ce qui représente le coût supplémentaire qu'accepte de payer un individu pour voyager plus longtemps dans un mode de transport.

Prenons un autre exemple et imaginons une personne qui a le choix entre deux itinéraires pour relier deux villes A et B ; le premier plus direct, emprunte une route nationale sans intérêt, le second traverse une région beaucoup plus pittoresque. Si cette personne choisit le second, on peut penser qu'elle retire une satisfaction du temps passé dans ce voyage. Or, cette satisfaction dépend essentiellement du but du voyage, l'individu n'acceptera de faire le détour que s'il attache une importance à l'aspect touristique de son voyage.

Ces deux premiers exemples montrent le rôle de $\frac{\ell_j}{\lambda}$ lorsque celui-ci est positif, mais rien ne nous interdit de penser que $\frac{\ell_j}{\lambda}$ puisse être négatif ; le temps, bien que nécessaire à la production d'une activité peut être ressenti comme une source d'insatisfaction. Par exemple, un "banlieusard" qui éprouve autant d'aversion à conduire à travers les embouteillages que d'être compressé dans une voiture de métro surchargée peut choisir la première solution parce que l'automobile est plus rapide mais sans que le gain de temps que lui procure cette solution soit égal à la valeur marginale qu'il accorde au temps. Pour lui, la valeur qu'il accorde au temps en tant que facteur de production est supérieure à sa valeur du temps, ce qui compense l'insatisfaction qu'il ressent de son voyage.

Enfin, il y a un troisième cas théorique qui peut se présenter :

$$0 < \frac{\ell_j}{\lambda} < \frac{\mu}{\lambda}$$

Cette équation signifie que la valeur accordée aux circonstances dans lesquelles on passe son temps est positive, mais inférieure à la valeur du temps. Cette satisfaction ne présente pas un intérêt suffisant en lui-même pour justifier le déplacement ; le voyage est effectué parce qu'il est à la fois agréable et utile. Prenons le cas d'une famille qui est invitée chez des amis et qui hésite entre le train et la voiture. Finalement elle décide de prendre la voiture, non pas tellement parce que le supplément de temps est inférieur ou égal à la valeur du temps, mais surtout parce que la voiture permet de visiter des régions sur le trajet.

Dans le modèle précédent, nous considérions le voyage comme une activité intermédiaire effectuée dans le seul but de se déplacer d'un point à un autre. Le temps passé à voyager ne présentait d'utilité que dans la mesure où il permettait d'atteindre la destination : ces voyages correspondent à un type que nous appelons des voyages de transition. Or, notre second modèle montre l'intérêt de tenir compte de la valeur que l'individu accorde aux circonstances dans lesquelles il passe son temps. Dès l'instant où cette valeur devient positive, il peut ne plus s'agir d'un voyage de transition pure ; lorsqu'elle dépasse la valeur du temps, il ne peut s'agir que d'un voyage d'agrément dont parfois l'utilisation du mode de transport est l'élément principal.

Résumons dans un tableau les résultats auxquels nous sommes parvenus :

$-\frac{d X_{j\ell}}{d t_j} P_\ell < 0$	$0 \leqslant \frac{\mu}{\lambda} < \frac{\ell_j}{\lambda}$	Voyage d'agrément
$-\frac{d X_j}{d t_j} P_\ell > 0$	$0 < \frac{\ell_j}{\lambda} < \frac{\mu}{\lambda}$	Voyage de transition agréable
	$\frac{\ell_j}{\lambda} \leqslant 0$	Voyage de transition

Ainsi, la distinction que nous faisons dans ce modèle concerne l'utilité du temps : il présente une utilité en tant que facteur nécessaire à la production d'une activité mais il présente aussi une utilité qui résulte des circonstances dans lesquelles se déroule l'activité. Ces circonstances sont indépendantes des biens ou services utilisés, il ne peut donc s'agir des conditions de confort qu'offre un mode de transport puisqu'elles tiennent essentiellement à la nature du bien utilisé. C'est donc à ce niveau que se situe l'insuffisance de ce modèle, celui-ci ne pourrait pas expliquer le choix entre un TEE et un train classique dont les performances seraient identiques. Ce sont ces caractéristiques qu'il convient d'intégrer en élargissant les hypothèses du modèle.

2 - L'INFLUENCE DU CONFORT

La manière dont nous avons introduit le temps, sans mettre en cause son rôle fondamental, s'est faite au détriment de considérations sur le mode lui-même. On supposait explicitement que les seules différences entre divers modes de transport se réduisaient à la vitesse et au coût ; on considérait même que l'appréciation des conditions de transport dépendait uniquement des motifs du voyage. Il faut donc élargir les hypothèses du modèle précédent pour intégrer les autres caractéristiques qui concourent au confort, dans l'acception la plus générale du terme.

21 - Les hypothèses et les équations d'équilibre du modèle

L'hypothèse spécifique de ce modèle se situe au niveau de sa fonction d'utilité. Ce modèle répond à l'insuffisance des deux précédents en introduisant dans la fonction d'utilité une fonction de satisfaction qui dépend non seulement du temps passé dans l'activité i mais aussi du bien ou service utilisé.

La fonction d'utilité est très voisine de celle du troisième modèle présenté par F.X. de DONNEA (1).

(1) F.X. de DONNEA, op. cit. p. 24 à 28.

$$U = U(A_1, L_1, \ldots, A_i, L_i, \ldots, A_n, L_n)$$

où : A_i a la même signification que dans les modèles précédents

$$L_i = L_i(X_{ik}, t_i)$$

L_i exprime que la satisfaction ou l'insatisfaction ressentie de par les circonstances dans lesquelles se déroule l'activité I dépend non seulement du temps que l'on y passe, mais aussi des biens que l'on emploie.

On suppose que l'individu cherche à rendre maximum sa satisfaction sous les deux contraintes déjà définies de temps et de revenu. En utilisant les multiplicateurs de LAGRANGE μ et λ, on parvient aux équations d'équilibre suivantes :

$$(I.44) \quad \frac{\delta U}{\delta X_{ik}} = \frac{\delta U}{\delta A_i} \times \frac{\delta A_i}{\delta X_{ik}} + \frac{\delta U}{\delta L_i} \times \frac{\delta L_i}{\delta X_{ik}} - \lambda P_k = 0$$

$$(I.45) \quad \frac{\delta U}{\delta t_i} = \frac{\delta U}{\delta A_i} \times \frac{\delta A_i}{\delta t_i} + \frac{\delta U}{\delta L_i} \times \frac{\delta L_i}{\delta t_i} - \mu = 0$$

I = 1 à n
k = 1 à m

Pour des raisons de commodité dans l'écriture, on pose :

$$\frac{\delta U}{\delta A_i} \times \frac{\delta A_i}{\delta X_{ik}} = a_{ik} \qquad \frac{\delta U}{\delta A_i} \times \frac{\delta A_i}{\delta t_i} = f_i$$

$$\frac{\delta U}{\delta L_i} \times \frac{\delta L_i}{\delta X_{ik}} = k_{ik} \qquad \frac{\delta U}{\delta L_i} \times \frac{\delta L_i}{\delta t_i} = l_i$$

On obtient ainsi :

$$a_{ik} + k_{ik} = \lambda P_k$$

$$f_i + l_i = \mu$$

Sous les mêmes conditions que celles que nous avons déjà énoncées lors du premier modèle, λ et μ représentent respectivement l'utilité marginale du temps et l'utilité marginale de l'argent.

La première équation (I.44) exprime que l'utilité marginale d'un bien k utilisé dans l'activité I est égale à son utilité en tant que facteur de production, à laquelle il faut ajouter son utilité marginale en tant que facteur de satisfaction. Cette utilité marginale du bien est égale au produit du prix de ce bien par l'utilité marginale que l'individu accorde à l'argent ; elle doit être la même dans toutes les activités. La seconde équation (I.45) a la même signification que celle qui a été présentée dans le modèle précédent concernant l'utilité du temps.

22 - Le prix du confort

En faisant les mêmes hypothèses que celles du modèle précédent, c'est-à-dire en ne considérant que la substitution entre l'emploi d'un bien et de temps dans une même activité, on montrerait que le taux de substitution qui maintient le niveau d'utilité constant est égal à :

$$(I.46) \qquad -\frac{d t_j}{d X_{jl}} = \frac{P_l}{\frac{\mu}{\lambda}} = \frac{a_{jl} + k_{jl}}{f_j + l_j}$$

Soit :

$$-P_l \frac{d X_{jl}}{d t_j} = \frac{\mu}{\lambda}$$

Quel que soit le modèle, le taux marginal de substitution est donc le même ; il montre que la valeur du temps doit être égale au supplément de coût qu'on accepte de payer pour économiser une unité de temps. Mais comme précédemment, on va montrer que ce taux est très différent du taux de substitution technique qui maintient constant le niveau d'activité. Par définition, ce taux est égal au rapport des productivités marginales, soit :

$$-\frac{dt_j}{dX_{jl}} = \frac{\lambda P_l - k_{jl}}{\mu - l_j}$$

et en effectuant les transformations appropriées, on parvient à l'équation fondamentale suivante :

$$(I.47) \qquad \frac{\mu}{\lambda} = -\frac{dX_{jl}}{dt_j}\left[P_\ell - \frac{k_{jl}}{\lambda}\right] + \frac{l_j}{\lambda}$$

Cette équation intègre toutes les composantes du choix du mode de transport ; nous savons déjà que $\frac{\mu}{\lambda}$ représente la valeur du temps et que $-\frac{dX_{jl}}{dt_j} P_\ell$ est le supplément de coût qu'accepte de payer un individu pour économiser une unité de temps.

Dans le modèle précédent, nous avons montré que $\frac{l_j}{\lambda}$ représentait la valeur que l'individu attachait à la satisfaction marginale ressentie du temps passé dans l'activité j. Nous avons alors mis en évidence le rôle du motif, mais cette interprétation est insuffisante compte tenu de l'hypothèse de ce nouveau modèle ; on la complètera en faisant apparaître la notion de confort matériel. Ensuite, nous chercherons une interprétation du nouvel élément qui est apparu dans l'équation fondamentale $\frac{k_{jl}}{\lambda}$; on mettra ainsi en lumière un second aspect du confort, le confort psychologique.

S'il est certain que le motif d'un voyage rend les circonstances plus ou moins agréables, il est aussi vrai qu'elles dépendent des conditions qu'offre le mode de transport choisi. Selon toute vraisemblance, un voyage touristique agréable peut, lorsqu'il se prolonge dans de

mauvaises conditions, devenir très pénible. Par exemple, au-delà d'une certaine distance, un individu peut ne plus envisager de faire un voyage en automobile parce que la conduite devient trop pénible et ceci indépendamment du motif.

Le confort est donc lié à la perception d'une fatigue. On rejoint ici la conception de GOKHMAN et KOST (1) sur le confort du voyageur. Selon eux, l'indice de confort traditionnel est constitué par le laps maximum de temps durant lequel un voyageur peut rester dans une voiture sans ressentir de fatigue. Ils ont ainsi été amenés à rechercher les facteurs qui pouvaient être à l'origine de la fatigue : température, bruit, éclairage, forme des sièges, ... afin de faire reculer ce seuil.

Cette approche du confort est l'approche la plus traditionnelle mais elle est insuffisante : elle ne s'attache qu'à son aspect matériel, or le confort d'un voyage dépend aussi du bien-être psychologique souvent sans lien avec l'apparition de la fatigue.

Analysons en termes d'utilité ce que représente $\frac{k_{jl}}{\lambda}$. Par définition, c'est le rapport de la satisfaction marginale de l'utilisation d'un bien et de l'utilité marginale de l'argent. Ce rapport représente donc la valeur que l'individu attache à la satisfaction d'utiliser le bien l. Cette satisfaction est indépendante du niveau d'activité atteint mais aussi du temps d'utilisation. Cela signifie donc que l'utilisation des biens en elle-même suscite chez l'individu une impression agréable ou désagréable.

Si on applique cette remarque aux modes de transport, on s'aperçoit que l'emploi d'un mode de transport suscite un attrait ou une répulsion indépendamment même de la longueur du voyage. Dès lors, on comprend que les personnes qui déclarent ne pas aimer voyager en avion, le font, non pas parce qu'elles pensent que le voyage présente un caractère pénible, mais parce qu'elles ont une image de l'avion défavorable, sans doute en raison de sa relative insécurité. Ce même phénomène peut se produire à l'égard de la voiture ; il y a des personnes qui peuvent trouver le voyage très agréable mais la hantise de l'accident est assez forte pour qu'elles renoncent à ce mode, du moins en certaines occasions. Le train présente lui aussi un caractère d'insécurité, en particulier chez les personnes peu habituées à voyager qui craignent de se tromper de train.

Tous ces exemples ont pour but de mettre en lumière un aspect du confort qui est souvent négligé. Le confort se traduit à la fois par un bien-être physique et par un bien-être psychologique. Si le train est utilisé par certains hommes d'affaires, c'est parce que sa régularité leur offre un confort qu'ils peuvent préférer aux gains de temps aléatoires de l'avion. Par contre, d'autres peuvent choisir l'avion uniquement parce qu'une certaine image de prestige est attachée à ce mode. Le confort psychologique recouvre de multiples aspects sans doute difficiles à cerner, mais dont on ne doit pas oublier le rôle dans le choix du mode de transport (2).

---

(1) F.G. GOKHMAN et E.L. KOST "Le confort des voitures à voyageurs", Zeleznodoroznyj Transport n° 2, 1967, in "Confort Optimum du voyageur", Rapport du Groupe ad hoc de l'Union Internationale des Chemins de fer, Paris, mars 1969, page A 3.

(2) Ces différents aspects seront approfondis au cours du second chapitre lors de l'étude des facteurs psychologiques (sections III et IV).

Supposons que l'individu soit insensible aux circonstances dans lesquelles il passe son temps, ce qui peut signifier, en particulier, que les deux modes en concurrence offrent des conditions de confort identiques ; on peut alors ramener à trois types les situations rencontrées :

1 - L'individu accepte de payer plus cher le mode le plus rapide, d'autant plus que le mode auquel il renonce lui inspire une plus grande aversion que le mode choisi. Il n'est pas nécessaire que le gain marginal de temps ait une valeur supérieure à la valeur qu'il accorde au temps.

2 - L'individu accepte de payer plus cher le mode le plus rapide mais le mode choisi présente un attrait moindre que celui auquel il renonce. Le gain marginal de temps a nécessairement une valeur supérieure à la valeur qu'il accorde au temps.

3 - L'individu accepte de payer plus cher le mode le moins rapide ; le mode choisi doit exercer un attrait suffisamment fort pour que l'individu accepte de perdre à la fois du temps et de l'argent. Le gain marginal de temps étant négatif, sa valeur est nécessairement inférieure à la valeur du temps.

Grâce à ce modèle, nous avons pu distinguer deux types de confort : le confort matériel et le confort psychologique. Cependant, il ne faut pas créer une barrière artificielle car entre ces deux catégories, jouent de nombreuses interférences. Cette distinction a peut-être le mérite d'indiquer aux offreurs de transport qu'il ne suffit pas d'offrir de meilleures conditions matérielles si, d'autre part, on ne fait porter aucun effort sur l'amélioration du confort psychologique de l'individu ; par exemple, il ne suffit pas d'avoir des trains confortables pour attirer la clientèle ferroviaire, il faut aussi offrir des conditions d'accès aux trains qui libèrent les voyageurs d'une certaine inquiétude (parking, attente aux guichets, difficulté à trouver le bon train, ...).

Le second mérite de ce modèle est de montrer une nouvelle fois le caractère insuffisant de l'approche du choix du mode de transport en termes de valeur du gain de temps. Le motif et le confort sont des variables qu'on ne doit pas négliger sous peine de ne pas comprendre certains comportements et de les juger abusivement comme des comportements irrationnels. Cependant, la valeur du temps demeure l'élément central autour duquel se greffent tous les autres.

3 - LE REVENU, COMPOSANT ESSENTIEL DE LA VALEUR DU TEMPS

Tout au long de cette étude, nous avons envisagé le temps comme un bien dont nous avons montré le rôle essentiel dans le choix d'activités des individus. Mais le temps présente des caractères spécifiques qui le distingue de tout autre bien. L'homme ne peut, ni le produire, ni le stocker, il peut seulement en disposer mais en quantité limitée. Le temps ne peut faire l'objet d'aucun échange qui puisse en faire apparaître le prix.

Parce que le temps ne peut faire l'objet ni d'échange, ni de production, certains auteurs en ont conclu que le temps n'est pas un bien

économique. Ils considèrent que, sur le marché du travail, ce n'est pas du temps qui est vendu contre un salaire mais de la force de travail.

Pourtant ne peut-on pas considérer qu'une personne qui s'adjoint les services d'une autre pour effectuer des activités à sa place échange du temps ? En fait il y a bien échange, mais il n'y a pas échange de temps puisqu'à la suite de l'échange le stock de temps des deux contractants ne s'est pas modifié ; il y a eu un échange, mais un échange dans l'emploi du temps. L'un emploie son temps, non plus pour lui-même mais pour celui qui l'a employé et, en échange, il demande une rémunération. L'autre obtient la possibilité de consacrer une partie de son temps à d'autres activités.

Alors le marché du travail ne peut-il pas se confondre avec le marché du temps et le salaire versé par unité de temps ne correspond-il pas au prix qu'une personne attache à son temps ? Pour répondre à ces questions, nous allons reprendre le modèle précédent en modifiant l'une des hypothèses générales. On va considérer que le temps consacré au travail n'est plus une donnée.

31 - Les hypothèses du modèle

Supposons maintenant que l'individu soit capable de construire sa fonction d'utilité pour une période assez longue et qu'ainsi il ait la possibilité de déterminer la longueur de son temps de travail selon ses préférences.

Cette hypothèse est certes peu conforme à la réalité puisqu'en France comme dans de nombreux pays il existe une limite légale du temps de travail hebdomadaire. Cependant, celle-ci connaît tellement de dérogations qu'on peut admettre qu'en moyenne et longue périodes un individu choisira l'emploi dont la durée lui conviendra le mieux parmi l'éventail des choix possibles. Il n'est pas irréaliste de penser que des personnes refusent ou quittent un emploi parce qu'il prend trop de temps par rapport au temps de loisirs dont ils souhaitent disposer.

Ce phénomène est observable aussi bien dans les pays très développés que dans les pays sous-développés (1). Au-delà de certains seuils de salaire, les individus refusent de travailler. Dans les pays développés, on explique ce phénomène par l'abondance de biens qui multiplie les occasions de passer son temps dans des activités de loisirs. Certaines personnes préfèrent disposer d'un salaire moindre mais suffisant pour satisfaire leur désir de loisir plutôt que d'un salaire élevé qui ne leur permettrait pas de satisfaire ces désirs. Dans les pays sous-développés, ce phénomène est expliqué par la rareté des biens qui fait que, lorsque l'individu considère qu'il atteint un revenu suffisant, il n'accepte plus de travailler puisqu'il n'aura plus l'occasion de dépenser ce revenu supplémentaire.

---

(1) Sans faire référence à la littérature spécialisée sur ce point, citons Paul A. SAMUELSON : "Economics : An Introductory Analysis", 5ème édition, Mc Graw-Hill, New-York, 1961 ; traduction française, "L'Economique", Armand Colin, Paris, 1964, pages 493 à 494.

Si l'individu est capable de choisir sa période de travail, on n'a plus le droit de poser que son activité de production est donnée exogène de son utilité. Il faut donc intégrer l'activité de production dans la fonction d'utilité. L'activité de production est généralement effectuée pour le compte d'une entreprise ; elle ne doit donc pas intervenir dans la fonction d'utilité de l'individu. Pour le consommateur, l'activité de production n'a d'intérêt qu'à travers le niveau de revenu qu'il a atteint. Mais le niveau de revenu a-t-il une utilité propre ? Il est certain que les personnes dont le seul but est d'accumuler de la richesse monétaire attachent une utilité à la disposition des sommes monétaires. En conséquence, il semble logique d'introduire le niveau de revenu dans la fonction d'utilité.

Cependant, au début de notre étude, nous avons fait l'hypothèse que tout le revenu est consommé dans des dépenses en biens et services. Cette hypothèse revient à considérer que le revenu n'a d'utilité qu'à travers les biens qu'il permet d'acheter. Dans ces conditions, il n'est pas utile d'introduire de façon explicite le revenu dans la fonction d'utilité puisque celle-ci contient sa contrepartie exprimée en biens ou services.

Le revenu sera considéré comme une contrainte mais, à la différence des modèles précédents, ce n'est plus une donnée exogène puisque la période de l'activité de production est variable. En supposant alors que le revenu par unité de temps est constant, le revenu de la période ne dépend que de la durée de l'activité de production.

Mais l'activité de production ne se mesure pas seulement en termes d'utilité à travers les biens que le revenu permet d'acquérir. L'individu, lorsqu'il choisit un emploi, n'est pas indifférent à la nature du travail qu'on lui propose. En particulier entre deux emplois de rémunération égale, il choisira celui qui lui offre le plus d'agrément.

On peut alors formuler la nouvelle fonction d'utilité de la façon suivante :

$$U = U\,(A_i,\ L_i,\ L_w)$$

où A_i et L_i ont la même signification que précédemment

L_w représente la satisfaction retirée du temps passé dans l'activité de production

$$L_w = L_w\,(T_w)$$

32 - Les équations d'équilibre

L'individu va chercher à maximiser son utilité sous les deux contraintes de temps et de revenu. Celles-ci vont être modifiées parce que le temps de travail n'est plus une donnée.

En notant par S le salaire par unité de temps et par T_w le temps de travail, la contrainte de revenu s'écrit :

$$ST_w = \sum_{i=1}^{n} \sum_{k=1}^{m} P_k\, X_{ik}$$

La contrainte de temps ne peut plus s'exprimer en fonction du temps total de consommation puisque celui-ci est variable.

On a : $T = T_w + T_c$

soit : $T = T_w + \sum_{i=1}^{n} t_i$

T est le temps total disponible pour les activités de production et de consommation. Il est égal à la période de perception sur laquelle est définie la fonction d'utilité.

On forme l'équation de LAGRANGE avec les mêmes multiplicateurs μ et λ .

$$V = U(A_i, L_i, T_w) + \lambda (ST_w - \sum\sum P_k X_{ik}) + \mu (T - T_w - \sum t_i)$$

Les conditions nécessaires pour que cette fonction soit maximum requièrent que les dérivées partielles soient nulles.

(I.48) $$\frac{\delta U}{\delta A_i} \times \frac{\delta A_i}{\delta X_{ki}} + \frac{\delta U}{\delta L_i} \times \frac{\delta L_i}{\delta X_{ki}} = \lambda P_k$$

(I.49) $$\frac{\delta U}{\delta A_i} \times \frac{\delta A_i}{\delta t_i} + \frac{\delta U}{\delta L_i} \times \frac{\delta L_i}{\delta t_i} = \mu$$

(I.50) $$\frac{\delta U}{\delta L_w} \times \frac{\delta L_w}{\delta T_w} + \lambda S = \mu$$

Les deux premières équations ont rigoureusement la même signification que celle qu'elles avaient dans le modèle précédent. Par contre, la troisième équation (I.50) est spécifique de ce modèle. Elle signifie que l'utilité marginale du temps est égale à la satisfaction marginale retirée du temps de travail plus le salaire multiplié par l'utilité marginale de l'argent. En rapprochant cette équation de l'équation précédente, on peut en déduire que l'utilité marginale du temps doit être la même dans toutes les activités, y compris l'activité de production.

L'équation (I.50) présente un intérêt majeur : divisons chacun des membres par λ, on obtient :

$$\frac{\dfrac{\delta U}{\delta L_w} \times \dfrac{\delta L_w}{\delta T_w}}{\lambda} + S = \frac{\mu}{\lambda}$$

La valeur du temps est égale au salaire plus la valeur qu'accorde l'individu à la satisfaction ou à l'insatisfaction que lui procure son temps de travail. Si l'individu ne ressent aucune satisfaction ou insatisfaction des conditions dans lesquelles il passe son temps, alors la valeur du temps est bien égale à son salaire.

33 - La nécessité d'introduire la perception des conditions de travail pour déterminer la valeur du temps

Comme les modèles de OORT et de F.X. de DONNEA, notre modèle a le mérite de faire apparaître dans les éléments composant la valeur du temps, à côté du taux de salaire horaire, un second élément que nous définissons comme la valeur que l'individu accorde à la satisfaction ou à l'insatisfaction que lui procurent les conditions de travail.

Deux sortes d'influence vont jouer sur l'individu pour déterminer la valeur de cette variable : d'une part, la longueur du temps de travail, d'autre part, l'attitude générale de l'individu vis-à-vis de son travail. Indépendamment de cette attitude générale, on peut penser que le temps de travail n'a guère d'influence tant que le seuil d'apparition de la fatigue n'est pas atteint, au-delà la satisfaction marginale diminue lorsque la fatigue s'accroît.

Mais l'élément qui nous semble essentiel est l'attitude générale de l'individu vis-à-vis de son travail. On peut regrouper toutes les attitudes possibles dans deux grandes catégories : la première comprend l'attitude de tous les individus qui éprouvent une certaine satisfaction dans leur travail. Ces personnes peuvent avoir un taux de salaire horaire inférieur à la valeur de leur temps, parce que la satisfaction que leur procure le travail compense la différence. C'est le cas des personnes qui refusent un travail à haute rémunération pour un emploi moins rémunéré parce qu'elles trouvent le second plus intéressant et que la différence d'intérêt compense la différence de salaire.

La seconde catégorie est l'ensemble des attitudes qui consistent à considérer tout temps de travail comme un moment désagréable mais nécessaire si l'on veut accomplir d'autres activités. Ces personnes chercheront à obtenir un emploi où la rémunération horaire est supérieure à leur valeur du temps. Ce supplément doit compenser la valeur de l'insatisfaction qu'elles éprouvent de leur travail.

Il ne nous appartient pas ici de porter un jugement de valeur sur les différentes situations, on peut cependant faire remarquer que toutes les études qui assimilent la valeur du temps au taux de salaire négligent la valeur que l'individu accorde aux conditions de travail et qu'il est donc vraisemblable qu'elles introduisent un biais systématique.

CONCLUSION

L'étude du comportement du voyageur montre la diversité des composantes qui orientent le choix du mode de transport. Si la valeur du temps peut être considérée comme l'élément charnière autour duquel s'articulent les autres composantes, ces dernières n'en jouent pas moins un rôle qui, en maintes circonstances, peut oblitérer l'influence de la valeur du temps. Il faut donc se montrer prudent tant à l'égard des valeurs du temps introduites dans des modèles de demande, qu'à l'égard de l'interprétation de valeurs du temps fournies par un modèle économétrique. Trop de caractéristiques séparent les deux modes étudiés, c'est pourquoi nous chercherons, non pas à intégrer une valeur du temps pour expliquer le choix, mais au contraire à dégager la valeur du temps telle qu'elle ressort des choix observés.

Mais l'analyse du choix entre le train et la voiture ne saurait se limiter à la recherche d'une valeur du temps qui accorderait une place privilégiée au temps et au coût de transport, alors que les prestations de services des deux modes sont, par nature, assez différentes. L'analyse empirique doit donc s'efforcer de mettre en lumière toutes les composantes qui ne sont pas directement liées au temps et au coût, cela nécessite l'étude préalable de l'environnement dans lequel s'exerce la concurrence entre le rail et la route.

CHAPITRE II

L'ENVIRONNEMENT DU CHOIX

Le premier chapitre reposait sur l'un des théorèmes fondamentaux de l'économie mathématique qui est l'indépendance des satisfactions des divers individus. Or, si l'aspect physique de certaines interdépendances est apparu dans le domaine de la production (1), on a jusqu'alors rejeté dans le domaine des anecdotes l'analyse de l'interdépendance des consommateurs. Les choix des consommateurs se font à l'intérieur d'un cadre environnemental qui n'est pas sans influence. Le but de ce chapitre est de bien situer l'environnement du choix entre l'automobile et le chemin de fer. Avant de décrire dans quel contexte général se place ce choix et sans prétendre faire une étude exhaustive de tous les facteurs influants, il est important de bien définir le choix entre le transport ferroviaire et le transport automobile.

Les deux termes de ce choix se distinguent fondamentalement d'un point de vue économique : au chemin de fer est attachée la notion de service de transport alors que l'automobile est un bien dont l'une des finalités, principale certes, est de permettre le transport. Janine MORICE (2) définit l'automobile comme un bien de consommation durable, elle souligne à juste titre que l'automobile par sa longévité se rapproche des biens d'investissement puisqu'elle est achetée pour rendre une suite de services dans le temps ; d'ailleurs, pour certains usagers, l'automobile est un bien d'investissement (représentants, commerçants, médecins, ...). L'automobile satisfait un ensemble de besoins futurs de transport alors que le train satisfait un besoin unique présent. Dans le premier cas, on accepte d'immobiliser un pouvoir d'achat important dans l'attente d'une série d'utilisations futures (3). Le voyage en chemin de fer est payé globalement pour un service immédiat (sauf dans le cas où la personne qui voyage est titulaire d'une carte d'abonnement). Cette distinction fondamentale en implique une seconde : l'automobile est un moyen de transport privé, le train un moyen de transport en commun, ce qui signifie que dans le cas le plus général, le choix ne se pose qu'aux personnes qui disposent effectivement d'une voiture ou du moins qui sont en état d'en disposer. Il faut ici distinguer deux situations qu'artificiellement nous appellerons la situation à court terme et la situation à

---

(1) L'un des exemples les plus célèbres qui est le point de départ de la théorie de l'environnement est l'exemple des fleurs et des abeilles de MEADE.

(2) Janine MORICE "La Demande d'automobiles en France" Armand Colin. Paris 1957, p. 4.

(3) On peut considérer le phénomène de la location de voiture comme un phénomène encore marginal.

long terme. Dans la situation à court terme une personne qui ressent le désir ou le besoin d'un voyage n'a le choix entre les deux modes de transport que si elle peut utiliser ces deux modes, donc que si elle dispose matériellement d'une voiture, c'est-à-dire le plus souvent si elle en est propriétaire. Dans la situation à long terme le choix peut se poser même aux personnes qui ne disposent pas de voiture dans la mesure où elles sont potentiellement capables d'en disposer mais où leur non-disposition résulte d'un choix délibéré de préférer un autre mode de transport et en particulier le train. Il apparaît donc que, quel que soit le mode envisagé, la disposition d'une voiture est un élément essentiel du conditionnement du choix. En d'autres termes, l'analyse du choix réclame l'étude de la motorisation car c'est ce phénomène de motorisation qui a transformé le monopole des transports terrestres de voyageurs du chemin de fer en un monopole concurrencé.

I - LES FACTEURS PSYCHO-SOCIOLOGIQUES DU CHOIX

Il y a peu de temps encore l'automobile et le chemin de fer avaient deux images bien différentes sur le marché des transports. Le chemin de fer, plus que centenaire, faisait figure de relique démodée, offrant ses services aux déshérités et incapable de vivre sans les subsides de l'Etat. Il jouissait de peu de considération et les "esprits avancés" (1) prévoyaient sa disparition, tel un ancêtre usé qui ne peut résister à la fougue de sa jeune cadette, l'automobile, dynamique conquérante d'un marché dont il avait longtemps détenu le monopole. Bien nouveau au début de ce siècle, guère pratiquée que comme sport réservé à la classe aisée, l'automobile est devenue le mode de transport principal et privilégié dans les économies occidentales en même temps que le symbole de la société développée de la seconde moitié du XXème siècle.

Une telle évolution ne peut pas s'expliquer uniquement par des raisons économiques. A la voiture ont été attachées de façon, soit spontanée, soit préméditée, des valeurs étrangères au simple service de transport et qui tendent à valoriser l'automobiliste. Ainsi la vitesse autorisée par les modes de transport modernes permet-elle d'assouvir certaines velléités de puissance et désirs de liberté. Nous chercherons à analyser comment l'automobile, en tant que mode de transport individuel, est logiquement avantagée sur ce plan. Au-delà du service rendu et de ses attraits sportifs ou pseudo-sportifs, l'automobile est sans doute l'objet qui dans nos économies actuelles est le plus typique de la symbiose de l'utilité et de l'ostentation.

1 - LA VITESSE PERMISSIVE DE LIBERTE ET DE PUISSANCE

La révolution industrielle avec l'introduction et le développement des transports a complètement modifié les notions d'espace et de temps. Le chemin de fer, puis l'automobile ont permis à l'homme une plus grande appropriation de l'espace et un sentiment de domination et de liberté, jusqu'alors privilège de ceux qui disposaient de vastes loisirs et allaient à cheval tandis que la masse marchait à pied.

Un problème de transport se pose toujours en terme d'espace et de temps. Ces deux éléments qui font souvent l'objet d'études disjointes trouvent dans le domaine du transport le meilleur révélateur de leur interdépendance : "L'espace ce n'est que du temps relatif et réciproquement : ou plutôt, l'espace n'a d'importance qu'en fonction du temps et de l'argent nécessaires pour le franchir, le temps n'a d'importance qu'en fonction de son coût et du déplacement spatial possible pendant une unité de temps" (2). Le chemin de fer, comme l'automobile, a permis à la fois d'accroître la distance de déplacement en une même unité de temps et de réduire le temps pour parcourir une même distance. L'accélération de la

---

(1) Société de Statistiques de Paris, cité par Alfred SAUVY "Les Quatre roues de la fortune", Flammarion, Paris, 1968, p. 27.

(2) Daniel L'HUILLIER : "Le Coût de transport", thèse, Aix-en-Provence, 1960, publiée aux éditions Cujas, Paris, 1965, p. 395.

vitesse procure une impression de maîtrise du temps et de l'espace : "Rouler, écrivent J. FABRE et H. MICHAEL procure cette satisfaction d'un décor qui change sans cesse, d'une projection dans l'espace (fuite en avant) et dans le temps (éternité de la force)" (1). Ces sensations permettent de nourrir une double illusion de liberté et de puissance dont l'appétit naturel est entretenu ou même volontairement aiguisé par l'environnement socio-économique.

"La liberté que la loi définit n'est qu'un cadre vide et chacun s'efforce d'acquérir les moyens de le remplir par la satisfaction de ses désirs, par l'affirmation de soi" (2). Le voyage d'agrément est longtemps resté l'apanage de la classe aisée, il est un symbole de liberté : outre le dépaysement, il suggère une évasion des contraintes ordinaires. Voyager est signe d'intégration au monde des loisirs et les transports modernes ont manifestement contribué à démocratiser cette activité. Cependant par sa nature de transport en commun le train oblige l'usager à envisager certaines contraintes : il faut rejoindre une gare, respecter des horaires, accepter un itinéraire, descendre en un point donné plus ou moins proche du lieu de destination. Par contre, la voiture n'assujettit le voyageur à aucun horaire et compte tenu de l'infrastructure routière, il peut choisir des itinéraires variés. "A chaque instant du voyage, à chaque instant du trajet s'ouvre un espace pratique nouveau et sur l'ensemble du trajet entre A et B apparaît une suite ininterrompue d'espaces possibles" (3).

D'autre part l'habitacle de l'automobile a un caractère privé qui conforte le sentiment de liberté. Les conditions de vie actuelle soumettent à une promiscuité croissante d'autant plus inévitable qu'on dispose de plus faibles moyens. L'espace privé apparaît comme le garant d'une liberté compromise par la vie citadine. En cela l'automobile s'oppose radicalement au train, à l'anonymat du compartiment s'oppose l'intimité de l'automobile souvent considérée comme l'annexe de l'appartement. Une des fonctions courantes de cette annexe est de représenter la résidence secondaire. Dans certains cas même, elle est pratiquement un substitut à l'appartement, en particulier pour les jeunes couples en voie d'"institutionnalisation" (4).

Cette liberté est en fait toute formelle, le nombre sans cesse croissant des automobiles provoque une saturation de l'espace routier et la liberté de circuler à volonté devient rapidement une illusion. Les difficultés de la circulation automobile appellent en outre une réglementation qui, à la limite, rend la voiture aussi peu souple qu'un mode de transport en commun : vitesse limitée, itinéraire imposé, zones interdites à la circulation (parcs de dissuasion, voies piétonnes, ...). Si l'automobile répond à un désir individuel de liberté en parfaite "harmonie avec notre système de propulsion économique" (5), elle réclame, maintenant

---

(1) Julien FABRE et Hervé MICHAEL : "Stop ou l'Automobile en question", Mercure de France, Paris, 1973, p. 11 et 12.

(2) Michel ROCHE : "Vivre avec l'automobile ?", Dunod-Actualité, Paris, 1970, p. 18.

(3) Michel GAUGANT et Jean ZASLAVSKY : "Jeu automobile et espace-temps industriel". CEREBE, décembre 1974, p. 28.

(4) Cf. Michel GAUGANT et Jean ZASLAVSKY, op. cit. p. 48.

(5) Jean SAINT-GEOURS : "Vive la société de consommation", Hachette, Paris, 1971, p. 124.

qu'elle touche les masses, une organisation collective. Tous ces aménagements nécessaires représentent un coût social élevé et rapprochent l'automobile d'un transport collectif. Mais elle assure cependant plus d'autonomie dans le déplacement et, au moins dans l'imaginaire, reste un moyen d'évasion privilégié.

S'exprimant au sujet de la voiture, BAUDRILLARD écrit qu'"elle ouvre comme une parenthèse absolue à la quotidienneté de tous les autres objets. La matière qu'elle transforme, l'espace-temps, est incomparable à toute autre. Et la synthèse dynamique qu'en donne l'automobile dans la vitesse est elle aussi radicalement différente de toute fonction habituelle. Le mouvement à lui seul est constitutif d'un certain bonheur mais l'euphorie mécanicienne de la vitesse est autre chose : elle est fondée dans l'imaginaire sur le miracle du déplacement. La mobilité sans effort constitue une espèce de bonheur irréel, de suspens de l'existence et d'irresponsabilité" (1). Cette transformation de l'espace-temps n'est pas propre à la voiture mais appartient à n'importe quel autre mode de transport rapide ; aujourd'hui le chemin de fer comme l'automobile est largement dépassé par l'avion. Mais l'automobile reste singularisée par la permanence de la relation (l'automobile fait partie du patrimoine) et surtout par la maîtrise individuelle de la machine. Ce dernier aspect est souvent exploité par les publicistes qui vantent les mérites de la conduite de tel modèle (2).

---

(1) Jean BAUDRILLARD : "Le Système des objets". Denoël-Gonthier, Paris, 1972, p. 82.

(2) Cf. Publicité de Citroën "A 140 km/h les DS retrouvent leur suprématie". Notons également une des publicités qui nous a paru des plus complètes au point de vue de la manipulation des sentiments et des illusions qu'elle suscite.
"Le jour où mon fils m'a conseillé d'acheter une Alfetta, j'ai compris qu'il était devenu un homme. Une Alfetta ? Mon fils admettait-il que j'avais enfin atteint l'âge de piloter une sportive de grande race ? Je l'entendais dire : "La 1800... Ou la dernière 1600. Des voitures sérieuses. Qui savent tenir la route. Equilibrées : moteur à l'avant, embrayage et boîte de vitesses à l'arrière". Je sentais déjà l'autoroute filer somptueusement à 175 km/h (je me demande bien où ?)... Il continuait : "Sécurité inégalée. A 90 km/h, tu la conduis du bout des doigts. Les bras tendus. Tranquille : dans la 1600 comme dans la 1800, tu as une vraie réserve de puissance fabuleuse. Des reprises... foudroyantes. Sans dérapage. Avec un double circuit de freinage. Une barre anti-roulis. Et quand tu penses à la consommation...". Tout se paie. Mon budget peut bien supporter le poids de quelques litres d'essences... Mais il affirmait imperturbable : "La consommation d'une utilitaire de 1000 cc. Pas plus. Entre 8 et 10 litres, à 100, 120 km/h. Dans la 1600 comme dans la 1800, la cinquième vitesse t'économise facilement mille tours/minute : à peu près 20 % du carburant sans perdre de puissance". Quelle tentation. Je me surpris à caresser l'idée de randonnées solitaires, dans la lueur bleue du tableau de bord, au ronronnement du moteur amorti par la moquette... "Et du te rends compte, papa, 5 places ! Dans des fauteuils exclusifs, modèle Alfa : enveloppants et galbés. Avec un coffre assez grand pour toutes nos valises".
Il était bien temps que mon fils devienne raisonnable. Pour m'aider à succomber à mes passions.
Alfa Roméo. Quand la passion garde les pieds sur terre.
Expansion, juin 1975, p. 64.

Une enquête intéressante quoiqu'un peu ancienne sur "quelques aspects psycho-sociologiques de la vitesse" automobile a été réalisée dans le cadre des travaux de l'ONSER (1). L'étude des réponses a dégagé que la vitesse est vécue différemment selon l'âge et le sexe, qu'elle tend à diminuer avec l'âge mais relativement plus chez les hommes que chez les femmes. L'ensemble des conducteurs aimerait rouler plus vite mais dans des limites qu'ils jugent raisonnables. Seuls les jeunes de moins de 25 ans souhaitent aller à la fois plus vite et à une vitesse qu'ils estiment vite dans l'absolu ; ils sont fiers de réaliser des performances, en particulier de "tirer le maximum" du véhicule et aspirent à posséder une voiture plus puissante, sans doute par référence aux petites cylindrées qu'ils possèdent le plus souvent. Le vieillissement atténue largement les sources de satisfaction liées à la vitesse sans pour autant les faire disparaître. Le capital "vitesse" garde son attrait puisque la cylindrée s'élève avec l'âge, tandis que la vitesse diminue ; les appels publicitaires aux notions de reprise et nervosité montraient déjà en 1962 que la justification du capital "vitesse" évoluait.

Dans les transports collectifs le voyageur n'a aucune prise sur la vitesse, de ce point de vue il est confondu dans le groupe transporté. Certes on peut choisir des transports rapides (express, rapide, TEE, avion) mais le choix est la plupart du temps le résultat d'un arbitrage financier que le prix du temps et le prix du confort expliquent amplement (2) : la puissance financière se substitue alors à la puissance physique. Par contre la maîtrise personnelle de la machine automobile est propre à faire naître des sentiments de puissance, d'autant plus que le conducteur ne se sent pas étranger à son véhicule. C'est un domaine particulier dont certaines réponses aux enquêtes montrent qu'il est dans quelques cas encore plus intime que la maison familiale (3). L'automobiliste, tel un centaure, parle de son véhicule comme d'un prolongement de lui-même (4). Il ne s'agit plus d'une vitesse subie mais d'une vitesse intensément vécue, source de réel plaisir et répondant à un désir de puissance physique (5). "Aller au-delà de la vitesse normale en automobile donne l'illusion d'une puissance illimitée, alors que l'exercice d'une telle puissance, qui seule pourrait calmer totalement l'angoisse que son impuissance crée chez l'homme, est hors d'atteinte" (6). Le dépassement est une phase particulièrement exaltante, angoissante, parfois pour celui qui dépasse, et généralement frustrante pour celui qui est dépassé.

---

(1) M. LUCET "Quelques aspects psycho-sociologiques de la vitesse". ONSER, bulletin n° 12, mai 1965.

(2) Maryvonne BENATTAR "Etude du choix de la classe en transport ferroviaire". Service de la Recherche de la SNCF, mars 1975.

(3) Jean BAUDRILLARD, op. cit. p. 82, cite une réponse typique "Je n'ai plus de bons moments qu'entre chez moi et le bureau. Je roule, je roule. Et encore aujourd'hui je ne suis même plus heureux, il y a trop de circulation".

(4) N'est-il pas fréquent d'entendre ce type de phrases : "J'ai froissé mon aile", "mon embrayage fonctionne mal", etc.

(5) Cf. Michel ROCHE, op. cit. p. 74 à 76.

(6) Philippe d'IRIBARNE, "La Politique du bonheur", éditions du Seuil, Paris, 1973.

A l'heure actuelle on observe une banalisation certaine de la vitesse automobile : n'importe quel véhicule atteint sans difficulté la vitesse maximum autorisée. A moins d'enfreindre la réglementation routière cette forme d'expression du désir de puissance se trouve bridée. De ce point de vue l'automobile rejoint l'anonymat du transport en commun où chacun est soumis à une vitesse uniforme. Dans la mesure où le chemin de fer est actuellement plus rapide, du moins sur certaines liaisons, dans la mesure où il offre des vitesses différentes (express, rapides, TEE), des personnes sensibles à l'idée de puissance qu'exprime la vitesse peuvent modifier leur choix ; même si le train ne permet pas de s'identifier individuellement, il leur donne la possibilité de s'agréger au groupe de "ceux qui vont vite".

2 - LA PART DE L'OSTENTATION DANS LE CHOIX

21 - L'automobile instrument privilégié de consommation ostentatoire

211 - L'automobile moyen d'exhibition par excellence

Lorsque Thornstein VEBLEN publia son ouvrage "Théorie de la classe de loisir" (1), l'automobile était l'apanage d'une minorité de personnes à la recherche de performances sportives beaucoup plus que d'un moyen de transport. Ses idées, déjà anciennes, n'ont cependant pas vieilli et il est possible de trouver à travers la consommation et l'utilisation de l'automobile une confirmation et une illustration de sa pénétrante analyse.

Entre l'automobile et le train l'aspect ostentatoire du choix nous paraît plus souvent associé à l'automobile. Toutefois, dans le choix du train, toute recherche de prestige n'est plus exclue. L'existence de plusieurs classes ne correspond pas uniquement à des différences de confort, mais également à la possibilité offerte au voyageur de ne pas "voyager avec n'importe qui", ce qui correspond en quelque sorte à un confort social. Les classes peuvent constituer un signe socialement distinctif mais éphémère par rapport à l'automobile. En effet on loue le service du chemin de fer pour une durée limitée, tandis que l'automobile est acquise pour une période plus longue. En outre l'automobile, objet individuel, permet de mieux exprimer sa personnalité et de mieux montrer comment on veut être perçu par autrui.

L'automobile apparaît comme un moyen privilégié pour montrer son niveau de vie, sa richesse car, comme le souligne VEBLEN, le seul moyen de faire sentir ses capacités pécunières c'est de les afficher le plus souvent possible : or l'automobile par sa nature de moyen de transport individuel est, parmi les objets que l'on possède, un de ceux que l'on expose le plus souvent aux regards des autres et un de ceux à travers lequel s'exprime le mieux la richesse. En voulant illustrer son

---

(1) Thornstein VEBLEN "Theory of the Leisure Class". Mc Millan Company, 1899. Traduction française "Théorie de la classe de loisir". Editions Gallimard Paris, 1970.

effet de démonstration DUESENBERRY prend justement comme exemple l'automobile et nous interroge : "Quelle sorte de réaction a-t-on lorsqu'on constate que la voiture ou le le logement d'un ami est d'une qualité supérieure à celle des mêmes biens que l'on possède ?" (1). DUESENBERRY pense qu'il ne peut s'agir que d'un sentiment d'insatisfaction à l'égard de nos propres biens. Mais cet effet de démonstration n'a de réalité qu'à travers une certaine signification sociale de la consommation qui veut que le prestige soit attaché au niveau de vie dont la consommation des biens est le reflet le plus visible. Or avec l'automobile le champ de la consommation ostentatoire s'est élargi ; jusqu'alors réservé principalement à la demeure et à l'habit, le domaine de l'ostentation précède l'homme dans ses déplacements. L'automobile n'est pas faite pour vivre cachée, au contraire sa présence est par nature spectaculaire et publique. Son usage fréquent permet de l'exhiber devant des publics différents, les collègues de travail, les voisins de quartier, les rencontres de vacances, etc. Bien souvent tous ces gens savent de quelle voiture vous disposez mais plus rarement comment vous vous logez. L'automobile est en quelque sorte le prolongement visible et mobile de la demeure, mais beaucoup plus exposée aux regards, c'est une conquête de l'espace privé sur l'espace public comme en témoigne l'agressivité de certains automobilistes. Tel un costume la voiture accompagne son propriétaire dans les déplacements, le présente socialement, même aux regards des inconnus et entame l'anonymat social créé par la mobilité de nos sociétés actuelles.

Depuis longtemps les constructeurs ont compris que l'automobile était un moyen d'exhibition et de ce fait particulièrement sensible au phénomène de la mode. Dès 1920 le président de la General Motors décidait que les Américains suivraient pour leur automobile la "Mode de Paris", entendant par là qu'ils en changeraient tous les ans. C'est cette politique qui permit à la General Motors de devenir la première firme mondiale d'automobiles devant Ford qui eut la malheureuse audace de conserver la même carrosserie pendant plus de quinze ans. Jusqu'en 1950 les nouveaux modèles comportaient, outre des modifications de forme, de notables améliorations techniques, mais à partir de 1950 les principaux constructeurs des Etats-Unis, Ford y compris, comptèrent sur la mode pour provoquer une "dynamique du vieillissement" (2). "Moderne devint le mot d'ordre des fabricants" (3) : la publicité du modèle Buick 1957, peu modifié par rapport au précédent, utilisait vingt fois le terme "moderne". Jusqu'en 1956 les carrosseries n'étaient modifiées que tous les trois ans ; en 1957 les "Grands de Detroit" décidèrent de faire coque neuve tous les deux ans. La General Motors poussa la surenchère jusqu'à changer annuellement ses carrosseries à partir de 1959 mais au prix d'une uniformisation des modèles. Les constructeurs européens ont été beaucoup plus modérés dans l'exploitation de la mode, ce n'est que depuis 1960 que les modèles se multiplient. Même Citroën a cru bon d'affubler la légendaire silhouette de sa deux chevaux de phares rectangulaires qui n'ont pas même l'alibi du perfectionnement technique.

Cette politique commerciale ne pouvait que conduire à la prolifération d'ornements superflus. Vance PACKARD citant E.B. WEISS, écrit : "Lorsqu'on compare les automobiles, les appareils de télévision de 1959

---

(1) James S. DUESENBERRY : "Income, Saving and the Theory of Consumer Behaviour", Harvard University Press, Cambridge, Massachusets, 1962.

(2) Expression de Harley EARL, maquettiste de la General Motors, cité par Vance PACKARD : "The Waste Makers", traduction française : "l'Art du gaspillage", Calman-Lévy, Paris, 1962, p. 86.

(3) Vance PACKARD, op. cit. p. 86.

avec ceux de 1956, on est obligé de se demander ce qui a bien pu advenir des centaines de millions de dollars dépensés pendant cette période par les bureaux d'études des grandes firmes" (1). Un an plus tôt, le même Monsieur WEISS s'était plaint de ce que la majorité des perfectionnements "n'eussent porté que sur des détails d'apparence extérieure comme les ailerons arrières des voitures ou sur des babioles ou des gadgets sans aucune importance réelle" (2). A en croire certaines publicités ces ailerons auraient eu pour but de stabiliser la voiture par vent contraire (!). En réalité, selon le Professeur ROBINSON, ils ont la même utilité que la tournure ou la traîne d'une robe à crinoline. Notons à ce sujet la remarquable interprétation de BAUDRILLARD : "A peine dégagé des formes des véhicules antérieurs et structuré selon la fonction propre très vite l'objet automobile ne fait que connoter le résultat acquis, se connoter lui-même comme fonction victorieuse. On assiste alors à un véritable triomphalisme de l'objet : l'aile de voiture devient le signe de la victoire sur l'espace, signe parce que sans rapport avec cette victoire (...) alors que le moteur est l'efficient réel, l'aile est l'efficient imaginaire. Cette comédie de l'efficience spontanée et transcendante de l'objet requiert aussitôt des symboles naturels. L'automobile vole les signes de l'avion, objet-modèle de l'espace, plus loin encore c'est à la nature qu'elle vole ses signes : le requin, l'oiseau, etc." (3). Après la période flamboyante du superflu, plus marquée aux Etats-Unis qu'en Europe, on en exige actuellement qu'il présente un alibi fonctionnel et même de préférence pratique touchant au confort (lumière anti-éblouissement, ouverture automatique, rampes de phares, ...).

Ces phénomènes dévoilent le caractère ostentatoire attaché à l'automobile, caractère systématiquement exploité par les publicistes dans le but d'accentuer la fonction de parade sociale. A travers l'automobile possédée doit transparaître la réussite sociale de son propriétaire (4). A travers ces pratiques on trouve des illustrations des idées de BAUDRILLARD pour lequel une véritable théorie de la consommation doit se fonder non sur une théorie des besoins et de leur satisfaction mais sur une théorie de la prestation sociale et de la signification. Il ne suffit plus à l'objet d'être oisif il lui faut aujourd'hui trouver un alibi fonctionnel car l'"éthique puritaine du travail" s'applique aussi aux objets. L'objet futile doit se charger de raison pratique. Mais derrière leur simulacre fonctionnel demeure l'essentiel : leur rôle de discriminants sociaux. Toutefois nous n'irons pas jusqu'à refuser le rôle de la valeur d'usage : l'automobile, du moins à l'heure actuelle est tout à la fois un objet fonctionnel et un objet porteur de signes discriminants.

Un autre révélateur de la signification sociale de l'automobile est la hiérarchie qui s'est établie entre la voiture de service et la position à l'intérieur de la firme. Vance PACKARD cite une grande compagnie pétrolière qui a divisé son personnel de direction en cinq classes plus la classe des présidents et à chacune de ces classes est réservé un type de voiture bien précis :

1 - Vendeurs : les modèles bon marché de Ford, Chevrolet et Plymouth (2 200 dollars) ;

---

(1) Vance PACKARD, op. cit. p. 22.

(2) Cité par Vance PACKARD, op. cit. p. 93.

(3) Jean BAUDRILLARD : "Le Système des objets". op. cit. p. 72.

(4) Cf. en particulier la publicité de la Renault 16 "voiture de PDG".

2 - Inspecteurs : Ford, Chevrolet et Plymouth de luxe (2 500 dollars) ;

3 - Chef de vente adjoint : Mercury, Pontiac, Dodge (2 800 dollars) ;

4 - Chef de vente : Oldsmobile, De Soto, Buick (3 600 dollars) ;

5 - Directeurs : Chrysler, Lincoln ou Cadillac dans la catégorie 5 100 dollars ;

6 - Vice-Présidents et au-dessus : ils peuvent avoir n'importe quel modèle de Cadillac (1).

Cette pratique n'est pas limitée aux Etats-Unis, elle est courante dans les grandes firmes françaises et dans l'administration, même la SNCF n'échappe pas à cette règle.

La difficulté de descendre dans la gamme des modèles traduit également la manifestation de rang social qui se révèle à travers l'automobile. Tout le système commercial est fait pour que l'individu monte dans la gamme et même quand le besoin d'une grosse voiture ne se fait plus sentir (diminution de la taille de la famille), il faut qu'il ait l'impression que prendre un modèle plus petit que l'ancien serait consentir à une perte de prestige (2). Les résultats des courants commerciaux font apparaître en 1973 que les changements de voiture se font le plus souvent dans la même gamme ou dans la gamme supérieure, mais rarement dans la gamme inférieure sauf au-delà de 8 chevaux (tableau II.1).

TABLEAU II.1

Répartition de la puissance des voitures nouvellement achetées par rapport à la puissance de l'ancienne voiture

	Puissance fiscale de la voiture renouvelée													
Pourcentage de voitures achetées de puissance fiscale...	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 à 16	17 et +	NP
Inférieure	0	2,1	4,4	9,6	13,6	24,0	56,0	45,4	40,1	45,1	57,7	47,9	88,9	
Egale	19,1	24,5	26,4	18,7	28,4	55,8	5,2	32,1	8,3	37,2	10,4	35,9	11,1	
Supérieure à la voiture renouvelée	80,9	72,4	69,2	71,6	57,9	20,1	38,8	22,5	51,7	17,6	31,8	16,1	0	

(1) *Vance PACKARD : "The Status Seekers", traduction française : "Les Obsédés du standing". Calman-Lévy, Paris, 1960, p. 113.*

(2) *Georges CAUGANT et Jean ZASLAVSKY dans leur étude, op. cit., ont détaillé les diverses phases de cette ascension selon deux plans : escalade dans la gamme des modèles et passage du marché de l'occasion à celui du neuf.*

Cette attitude à l'égard de la voiture traduit certes une certaine recherche de prestige mais peut être aussi le souci de bien s'intégrer dans la société en général ou dans un groupe particulier. Pour Philippe d'IRIBARNE (1) l'individu a besoin de ne pas se sentir différent des autres, ce qui le conduit à respecter les habitudes ou les normes de la société et des groupes. En l'absence de tout motif d'intégration chaque individu cherche à consommer le plus possible et ceci d'autant plus qu'il recherche le prestige. L'apparition des soucis d'intégration modifie certains comportements en modérant la consommation de ceux qui auraient tendance à dépasser les normes du groupe, en accentuant celle de ceux qui auraient tendance à se situer en dessous de ces normes ; pour ces derniers certaines consommations ne seront ostentatoires que pour respecter les pratiques du groupe. Lorsque le bien support de prestige est un bien non divisible, à ce titre la voiture est un bon exemple, les motivations d'intégration ont pour résultat de maintenir une consommation, même si elle ne représente plus aucune fonction utilitaire mais uniquement parce qu'elle permet de respecter les habitudes du groupe. L'effet de diffusion tel qu'il est observé sur l'évolution de la consommation automobile serait en partie le résultat de l'interaction des motivations de prestige et d'intégration.

212 - L'évolution de l'automobile comme consommation ostentatoire

Le phénomène de l'ostentation s'est considérablement modifié et on peut distinguer dans l'histoire de l'automobile, à peine vieille d'un siècle, quatre périodes : la période héroïque, la période de distinction, la période de diffusion et enfin la période de banalisation. A chacune ont correspondu des motivations sociales particulières, des images tenaces plus ou moins explicites et en tout cas exploitées par la publicité.

Le principal attrait de l'automobile est d'être un sport de classe réservé aux audacieux conquérants de l'espace ; on retrouve ici la notion développée par VEBLEN de l'exploit gratuit destiné à démontrer une certaine disponibilité de temps, de moyens, bref, une certaine aisance matérielle. A cette époque l'automobile pouvait être considérée comme un objet de pure ostentation dans lequel l'effet signe était essentiel.

De simple instrument sportif, la voiture devient un mode de transport accessible à une classe aisée et subit une transformation de

---

(1) Philippe d'IRIBARNE.
a) "Consommation prestige et efficacité économique". Revue d'Economie politique, vol. LXXIX n° 6, décembre 1969, p. 1215-1238.
b) "Les motivations sociales de la consommation et le comportement des consommateurs". Revue Economique, vol. XXI, n° 1, janvier 1970, p. 34 à 57.
c) "La consommation et le bien-être - Approche psycho-socio-économique". Revue d'Economie Politique, vol. LXXXII 1971, p. 25 à 64.
d) "La croissance et le bonheur". Projet n° 73, p. 252-262.
e) "La Politique du bonheur". op. cit.

silhouette. Elle reprend la séparation sociale en usage pour les voitures hippomobiles, le cocher est remplacé par un mécanicien dont le siège est encore à l'extérieur ("Le grand chic est de ne pas voir le chauffeur comme dans le cab où le supérieur qui est dans l'intérieur ne voit pas le postérieur de l'inférieur qui est à l'extérieur" (1)). L'apparition de la conduite intérieure est une phase sociologiquement importante dans le développement de l'automobile : le mécanicien devient chauffeur et s'installe dans l'habitacle des maîtres. Cela, accompagné de progrès relatifs à la conduite, permettra aux maîtres d'envisager de devenir conducteurs ; le chauffeur qui n'est plus indispensable restera pourtant une marque de prestige supplémentaire. Avec l'apparition de la conduite intérieure se développe rapidement la production en série non sans soulever sarcasmes et mépris ; une réputation de mauvaise qualité est entretenue par la classe aisée qui tient à ses voitures personnalisées, fabriquées artisanalement sur commande. Peu à peu la voiture de série s'impose par ses qualités pratiques et sa fiabilité. De nos jours, seule la Rolls Royce, fabriquée sur commande, garde encore son attrait auprès des grandes fortunes et cours princières qui recherchent avant tout une distinction sociale plus qu'une qualité supérieure. Il reste que tout au long de cette période, posséder une voiture, même de série est un signe de réussite sociale qui marque une aisance supérieure à la moyenne.

La période de diffusion se situe à différentes époques selon les pays ; les premiers à l'avoir connue sont les Etats-Unis dès le lendemain de la seconde guerre mondiale (2) ; on peut situer cette période vers 1960 en France. En effet, en 1960 30 % des personnes possédaient une voiture, dix ans plus tard cette proportion avait presque doublé puisqu'elle atteignait 56 %. La voiture s'est diffusée au point de devenir un objet de consommation courante dont la seule possession n'est plus un signe de distinction sociale. C'est le moment où le côté exploit de la situation de chauffeur s'estompe et où de nombreuses femmes accèdent au titre de conductrices. Mais si l'on ne peut plus accorder à la possession d'une voiture la valeur d'effet signe, celui-ce se retrouve à travers le type de voiture acquise. La hiérarchie sociale s'illustre alors par le modèle mais aussi par l'apparition d'une seconde voiture dans les classes aisées.

Tout bien de consommation technologiquement nouveau finit par connaître une phase de banalisation au cours de laquelle il se dépouille de ses effets-signes adventices. L'automobile, quant à elle, aborde cette phase dans des conditions particulières en raison de son ambivalence : ce bien privé ne peut accomplir sa fonction que grâce à des équipements publics qui ne sauraient suivre une évolution parallèle à cause de contraintes tant financières que politiques, que physiques. L'avènement de cette période n'est pas le fait d'un événement conjoncturel, la crise du pétrole, mais le résultat d'une évolution structurelle des sociétés industrialisées. En 1971 avant même la crise, et pour la première fois depuis cinquante ans, American Motors et General Motors ne modifient pas l'aspect extérieur de leurs modèles. La crise du pétrole analysée en tant

---

(1) Alfred SAUVY. op. cit. p. 16.

(2) En 1950, le taux d'équipement des ménages en automobile y était déjà de 75 % et n'a guère progressé depuis puisqu'en 1960, il était de 77 %. En revanche le pourcentage de ménages disposant de deux voitures est passé de 16 à 27 % pendant cette même période.

que fait conjoncturel a été le divulgateur à la conscience publique des significations contradictoires de l'automobile. La période de banalisation se caractérise par la contestation de la voiture, objet de prestige, et au-delà par la remise en cause de certains de ses aspects fonctionnels.

Apparue à la fin de la période précédente, la multimotorisation en se répandant, entre autres par le développement du travail féminin, jette un trouble dans la signification hiérarchique de la voiture : la seconde voiture, généralement petite et dévolue aux parcours urbains, laisse à toutes les autres petites voitures le bénéfice du doute quant à la possession d'une plus grosse. En outre, la grosse voiture perd son alibi fonctionnel ; en effet en dehors de l'encombrement des villes, la limitation de vitesse bien amorcée dans la plupart des pays antérieurement à la crise du pétrole et indépendamment d'elle se généralise et se raidit. Cette limitation a été ressentie comme un arrêt de l'escalade obligatoire qu'avait imposé le système des constructeurs (1). L'uniformisation de la vitesse routière en contribuant à atténuer le signifiant social de l'automobile, oriente vers d'autres modes de transport (moto, train, avion, ...). On peut voir là une des raisons du succès des trains très rapides à classe unique comme les TEE. La personnalisation de ces trains entre dans l'image de prestige : ceux qui prennent l'Aquitaine, le Capitole, ... ne se confondent pas avec ceux qui prennent tout simplement le train. En plus des performances matérielles indéniables de ces trains, la banalisation de l'automobile contribue à restaurer l'image de prestige du voyage ferroviaire ruinée par la diffusion même de l'automobile.

L'automobile n'est plus recherchée comme une fin en soi, mais on l'envisage comme un moyen nécessaire et privilégié pour d'autres dépenses dont l'ostentation n'est pas absente (2) : maisons de campagne, bateaux, ..., activités de loisir en général, dans lesquelles s'investit mieux le désir de prestige social. De ces divers symptômes évoqués l'esprit peut inférer une prochaine période qui pourrait être celle d'une remise en question plus radicale de l'automobile comme moyen de transport personnel et aurait pour effet de la dépouiller de toute signification de prestige.

22 - Intégration du temps comme élément de valorisation sociale

L'importance de l'environnement social dans les choix individuels a conduit des chercheurs du CEREBE, sous la conduite de J.P. DUPUY (3) (4), à voir dans le temps un élément dont la valeur sociale est déterminante dans la recherche du bien-être. Partant d'une critique de l'analyse

---

(1) Cf. SCEP "Les Français et l'automobile". Enquête réalisée pour le compte de la Chambre Syndicale des Constructeurs Automobiles. Septembre/octobre 1971, Paris. (Voir en particulier la troisième partie : "la crise du masque").

(2) George KATONA "The Mass Consumption Society" Mc Graw Hill, New-York 1964. Traduction française : "La société de consommation de masse". Editions Hommes et techniques, 6ème partie.

(3) Jean-Pierre DUPUY : "Innovation et obsolescence psychologique : essai de formalisation dans le cadre d'une économie de marché". Cahiers du séminaire d'économétrie, CNRS Paris 1974, p. 123 à 142.

(4) J.P. DUPUY "Encombrement et valeur sociale du temps". Documents du CEREBE, août 1973.

de LINDER (1) à qui il reproche de ne pas avoir vu le rôle de l'interdépendance des satisfactions individuelles, J.P. DUPUY développe une analyse où il intègre la signification sociale de la consommation par l'intermédiaire aussi bien du temps que des biens. A l'aide d'une première série de modèles à portée générale, il montre que la croissance aboutit, en raison de la signification sociale de toute consommation, à une diminution de la satisfaction individuelle. Il traite ensuite dans un cas particulier du choix du mode de transport et voit dans les gains de temps permis par les modes rapides beaucoup plus que la possibilité de performances utiles, la manifestation d'un effet-signe dont l'influence néfaste détériore la situation de chacun, contrairement à l'effet attendu.

A notre tour nous critiquerons l'analyse de J.P. DUPUY dont la formalisation présente à nos yeux quelques obscurités et un défaut de généralité ; elle nous semble d'autre part accorder trop d'importance à la fonction sociale par rapport à l'utilitaire. A la suite de cette critique nous proposerons un modèle dans la ligne des précédents mais élargi de façon à tenir compte de la signification sociale du temps et des objets consommés.

221 - La rareté du temps : produit de l'environnement socio-culturel

J.P. DUPUY reprend à son compte l'analyse descriptive de la "société pressée" de LINDER, mais il en récuse l'argumentation théorique qu'il juge contradictoire et propose un nouveau cadre d'analyse affranchi de l'hypothèse d'indépendance des satisfactions individuelles.

L'idée fondamentale de LINDER est que la richesse matérielle des pays développés, loin de conduire à une amélioration du bien-être des individus, contribue à une détérioration de la qualité de leur vie. Nos sociétés produisent trop de biens dont la consommation réclame au total de plus en plus de temps ; en conséquence le temps devient un bien de plus en plus rare et cette rareté compromet la qualité de notre vie. Inspiré de l'approche du capital humain de BECKER, LINDER propose un modèle qui fait dépendre le niveau d'activité d'une part des biens utilisés, d'autre part du temps total qu'on y passe :

$$Z_i = Z_i\,(q_i, T_i) \quad \text{avec} \quad \frac{\delta Z_i}{\delta q_i} > 0 \qquad \frac{\delta Z_i}{\delta T_i} > 0$$

Le niveau de satisfaction peut s'élever avec un accroissement, soit de biens, soit de temps de consommation. Or J.P. DUPUY reproche à ce modèle de contredire la réalité décrite dans la mesure où toutes les explications de LINDER reposent sur le fait que les progrès de productivité sont convertis en ressources matérielles et non pas en ressources temporelles.

Selon J.P. DUPUY, la satisfaction retirée des activités de consommation dépend, non du temps total qu'on y consacre, mais du temps

---

(1) Cf. S.B. LINDER. op. cit.

unitaire de consommation t_i : $t_i = \frac{T_i}{q_i}$ est une mesure de la densité en biens du temps de consommation ; "t_i, écrit J.P. DUPUY, est un paramètre de la qualité de cette consommation et la performance obtenue sur Z_i en dépend". Il suggère donc de substituer au modèle de LINDER le modèle suivant :

$$Z_i^* = Z_i^* (q_i, t_i) \qquad \frac{\delta Z_i^*}{\delta q_i} > 0 \qquad \frac{\delta Z^*}{\delta t_i} > 0$$

Dans le modèle de LINDER, pour un temps donné consacré à une activité i l'augmentation de la quantité de biens consommés améliore toujours le niveau d'activité. Par contre, dans le modèle de J.P. DUPUY la prise en compte du temps unitaire fait apparaître qu'il y a une quantité de biens qu'on peut ne pas avoir intérêt à dépasser : les avantages à attendre d'une augmentation de q_i seraient plus que compensés par les inconvénients résultant d'une diminution de t_i. Pour autant ce modèle n'est pas satisfaisant non plus car il ne fait que transposer la contradiction du stade des hypothèses à celui des conclusions. En particulier il montre, sous l'hypothèse que pour un temps de consommation donné il existe une quantité optimale finie de biens, que le temps de travail ne peut que décroître, réduisant par là l'encombrement du temps. Or la réalité et les observations de LINDER démentent ce phénomène.

Le paradoxe selon lequel la croissance contribue à la dégradation de la qualité de la vie par la multiplication des biens de consommation reste donc entier. J.P. DUPUY ne suit pas LINDER qui y voit le résultat d'une dissociation entre des préférences envisagées ex ante et des satisfactions ressenties ex post. Ex ante les individus croient améliorer leur situation par l'accroissement de la consommation ; ex post, ils se rendent compte que la qualité de la vie se dégrade plutôt qu'elle ne s'améliore et pour lutter contre cette détérioration, ils se lancent dans la course effrénée à la consommation, sans réaliser que là gît la source même du phénomène contre lequel ils luttent. J.P. DUPUY repousse cette explication : "on a du mal à croire à un tel aveuglement" (1) écrit-il et il conclut de l'existence de ce paradoxe qu'il manque à ces modèles une dimension, la dimension sociale de la consommation.

Deux caractéristiques distinguent l'approche de J.P. DUPUY de celle de LINDER. L'individu est supposé rechercher le maximum d'une fonction de bien-être $S(X_1, \ldots, X_i, \ldots, X_n)$ qui dépend d'un arbitrage entre des grandes variables fondamentales X_i dont l'ensemble forme l'invariant structurel des individus dans tel état de société et pour tel groupe social. Il cite par exemple "la satisfaction des besoins physiologiques, le sentiment de sécurité, l'obtention de bonnes relations avec autrui, l'harmonie avec l'environnement, l'évasion de la vie quotidienne". Il serait possible d'en dégager quelques autres mais cet échantillon reflète assez bien le mode de vie que nous connaissons dans les pays développés. Les performances obtenues sur les X_i dépendent des quantités de

(1) J.P. DUPUY, "Encombrement et valeur sociale du temps". op. cit. p. 31.

biens et de temps qui leur sont affectées :

$$X_i = X_i\ (q,\ t)$$

J.P. DUPUY insiste sur la différence, fondamentale selon lui, des X_i de son analyse et des Z_i de BECKER et LINDER. Cette distinction permet de "voir que dans une société comme la nôtre les mêmes biens ont simultanément des fonctions utilitaires, des fonctions de signe et des fonctions poétiques" (1) (2). Dans l'approche du "capital humain" le temps et les biens ne sont ordonnés qu'à un seul objectif Z_i. D'autre part les relations entre les quantités de biens et le temps imparti à leur consommation afin d'obtenir un niveau de X_i ne sont plus d'ordre technique mais social : "elles traduisent les règles du jeu de la société dans laquelle on se trouve et varient donc quand l'état de la société change. Si l'on raisonne à état de la société variable (caractérisé à la fois par les institutions au sens large et par le comportement des tiers), il faut en conséquence les écrire sous la forme suivante (pour un individu quelconque k) :

$$X_i^k = X_i^k\ (q^k,\ t^k,\ \ldots,\ q^j,\ t^j,\ \ldots\ \mathcal{R})$$

q^j et t^j étant les variables de comportement des individus $j \neq k$, $\mathcal{R}$ représentant les règles du jeu de la société (3). Naturellement pour les dimensions X_i où la consommation n'a pas de rôle de signe on peut considérer que :

$$X_i^k = X_i^k\ (q^k,\ t^k)$$

Dans le cas où seul l'effet signe intervient, J.P. DUPUY admet comme hypothèse simplificatrice que l'individu fait référence à la consommation moyenne du groupe social auquel il souhaite appartenir :

$$X_i^k = X_i^k\ \left(\frac{q^k}{\bar{q}},\ t^k\right)$$

Finalement il parvient au modèle simplifié :

Rendre maximum $U\ \left(q,\ \frac{q}{\bar{q}},\ t\right)$

sous les contraintes :

$$q \leqslant \tau\ W + r$$

$$tq + \tau \leqslant t_o$$

---

(1) J.P. DUPUY, op. cit. p. 35.

(2) Pour une description détaillée des différentes fonctions, cf. Ph. d'IRIBARNE "La consommation et le bien-être : approche psycho-socio-économique", op. cit.

(3) J.P. DUPUY. op. cit. p. 35.

q : consommation de l'individu

$\bar{q}$: consommation moyenne du groupe social de référence

t : temps unitaire de consommation

τ : temps de travail

W : salaire

r : revenus non salariaux

t_o : temps total disponible

La fonction U est croissante par rapport aux trois arguments. J.P. DUPUY, en considérant comme négligeable l'effet utilitaire, montre que si le rapport $\frac{q}{\bar{q}}$ demeure constant, l'augmentation de la productivité laisse la durée du travail inchangée. Les progrès de la productivité, entièrement convertis en ressources matérielles proportionnellement à la croissance de W, ne font qu'accroître l'encombrement du temps. L'auteur conclut alors : "La logique du processus est claire. Les effets de signe de la consommation en sont le moteur. Quand la productivité croît, la compétition sur les signes, processus sans limite, empêche que ce soit les ressources temporelles qui en profitent. Mais cette compétition aboutit simplement à ce que des biens λ fois plus coûteux que les biens anciens (si la productivité a été multipliée par λ) se substituent à ces derniers, en demandant la même durée de travail, sans changer les places respectives des individus dans la hiérarchie des signes. Par contre, l'encombrement du temps croît avec tout le cortège des conséquences insatisfaisantes qui en découle" (1).

Ainsi, selon J.P. DUPUY, ce modèle explique l'insatisfaction grandissante qui accompagne la croissance économique en laissant la situation relative de chacun inchangée et en provoquant l'encombrement du temps. A la différence du schéma classique qui faisait de la croissance économique le facteur de l'encombrement du temps, ce schéma met en avant l'environnement socio-culturel. Il permet de comprendre comment les moyens de plus en plus performants dont nous disposons pour gagner du temps, loin de diminuer l'encombrement de notre temps, l'accentuent. Par exemple, le temps qu'un mode de transport rapide peut faire gagner sera utilisé pour accroître le temps de travail lui-même, à son tour converti en biens de consommation, ce qui finalement accentuera l'encombrement du temps.

De même que la richesse matérielle, l'encombrement du temps revêt lui aussi une fonction de signe. Pour illustrer son propos J.P. DUPUY cite Michel CROZIER : "Tous les Français qui accèdent à des responsabilités sont suroccupés, et ceux qui veulent y accéder ou veulent avoir l'air d'y être parvenus le sont encore plus... Dans un tel cercle vicieux l'encombrement devient une drogue et un signe même de la supériorité de ceux qui sont 'in'" (2). Gagner du temps devient un impératif social, l'"homme encombré" doit aller vite. Cette thèse est proche de

---

(1) Jean-Pierre DUPUY. op. cit. p. 40.

(2) Michel CROZIER : "L'homme encombré", Prospective n° 15, avril 1969.

celle d'Ivan ILLICH qui voit dans la vitesse un discriminant social (1).

A la lumière d'une telle réflexion J.P. DUPUY analyse le choix du mode de transport en adjoignant à sa fonction utilitaire, seule reconnue par l'analyse classique, une fonction de statut social. L'argument utilitaire se présente selon lui sous la forme :

$$X_1 = X_1 (t) \qquad \frac{d X_1}{dt} < 0$$

ce qui indique que le niveau de satisfaction est d'autant plus élevé que le temps de transport est court. Dans l'argument social il fait intervenir une double relation : la performance sociale sera d'autant plus gratifiante que le temps de transport sera court et d'autant moins qu'apparaîtront des moyens de transport plus rapides. Cela s'écrit :

$$X_2 = X_2 (t, t^*)$$

avec $$\frac{\delta X_2}{\delta t} < 0$$

$$\frac{\delta X_2}{\delta t^*} > 0$$

où t^* représente la meilleure performance possible.

Sous ces hypothèses le modèle qui formalise le choix du mode de transport est :

Rendre maximum

$$S (t, t^*) = S \left[(X_1 (t), X_2 (t, t^*) \right]$$

sous les contraintes de budget et la contrainte technique

$$t \geqslant t^*$$

Ce modèle explique ainsi que les conditions de choix sont plus profondément modifiées que ne le laisse supposer l'analyse classique à la suite de l'introduction d'un mode plus performant. L'arbitrage temps-revenu ne s'opère plus exclusivement d'après les performances techniques des modes en présence mais intervient aussi la performance sociale rapportée à celle du meilleur mode.

Ce modèle a une implication concernant l'évaluation d'une politique de transport. Il montre qu'en évaluant les avantages d'un investissement réduisant le temps de transport à partir des arbitrages temps-coût sur la seule base de la fonction utilitaire, on les surévalue car dans la valeur du temps ainsi calculée entre une part qui revient au prestige que procure l'usage du mode le plus performant. Dans le calcul de rentabilité d'un investissement, il convient de ne pas amalgamer la part du prestige avec celle de l'utilité si l'on veut obtenir une évaluation correcte de la rentabilité sociale.

---

(1) Ivan ILLICH : "Energie et équité", éditions du Seuil, Paris, 1973.

Bien que très séduisante la formalisation proposée suscite quelques remarques et critiques. Nous reconnaissons certes que les biens ont simultanément une fonction utilitaire et une fonction de signe et que ce modèle permet de mettre en évidence leur double rôle en les faisant intervenir dans les différentes dimensions X_i ; ces X_i par contre nous paraissent une entité bien abstraite pour étudier les choix individuels. S'il est pertinent de considérer les X_i comme les éléments fondamentaux de la satisfaction de l'individu, ils nous paraissent jouer plus au niveau du subconscient que du conscient ; en effet, il ne semble pas que dans chaque activité il soit fait explicitement référence aux dimensions X_i en tant que telles. En ce sens l'approche plus concrète de BECKER en termes de Z_i nous paraît plus explicative et plus opérationnelle pour étudier le comportement observable de l'individu. Le mérite éminent du modèle de J.P. DUPUY est de dégager l'utilisation du temps comme valeur-signe et c'est dans cette direction que nous chercherons à compléter les modèles économiques présentés auparavant.

Notre seconde remarque vise le rôle du temps selon J.P. DUPUY : critiquant LINDER, il considère que le temps n'a pas d'influence isolée sur la satisfaction individuelle mais que l'élément essentiel est la quantité de temps consacrée à chaque unité de bien. Cette conception consiste à reléguer le temps dans un rôle secondaire par rapport aux biens alors qu'à notre avis il peut être à la limite source indépendante de satisfaction. Cette position est d'autant plus ambiguë que dans le modèle de choix de mode de transport, le bien transport disparaît, tout le raisonnement se fait en termes de temps. Ceci révèle en outre l'inaptitude du modèle général à rendre compte du choix du mode de transport. Bien sûr on peut y voir un souci de simplicité et le désir d'aller à l'essentiel, mais en fait la différence structurelle entre les deux modèles est telle qu'on ne perçoit la filiation qu'à travers les dimensions X_i.

En dépit de ces critiques la thèse de J.P. DUPUY est une ouverture intéressante pour la compréhension des comportements de consommation ; son analyse va nous servir à généraliser les modèles présentés antérieurement en intégrant la fonction sociale de la consommation.

222 - L'intégration de la fonction sociale

Toutes les remarques sur le rôle de l'ostentation et la pertinence des analyses de VEBLEN, LINDER et DUPUY nous conduisent à modifier le modèle de choix que nous avons proposé de façon à nous affranchir de l'hypothèse d'indépendance des satisfactions. Nous ne rejetons pas le cadre initial car il nous paraît tout à fait apte à intégrer une troisième composante d'utilité, la satisfaction sociale ressentie en fonction des consommations d'autrui. Le nouvel argument correspondant pourrait s'écrire pour l'activité i :

$$S_i\ (x_1, \ldots, x_q, \ldots, x_p, t, \ldots, t_q, \ldots, t_p)$$
$$q = 1, \ldots, p \text{ individus}$$

Un tel modèle est lourd à manier et ne nous paraît guère plus proche de la réalité que celui qui ferait dépendre la satisfaction sociale, non pas des consommations de tous les autres individus, mais d'une consommation de référence. Finalement la composante sociale s'écrit :

$$S_i \left(\frac{x_i}{\bar{x}}, \frac{t_i}{\bar{t}} \right)$$

où $\bar{x}$ et $\bar{t}$ sont respectivement la quantité et le temps de référence.

Le modèle s'écrit alors :

rendre maximum

$$U (A_1, L_1, S_1, \ldots, A_i, L_i, S_i, \ldots, A_n, L_n, S_n)$$

sous les contraintes de revenus et de temps :

$$Y = \sum_{k=1}^{m} \sum_{i=1}^{n} P_k X_{ik}$$

$$T_c = \sum_{i=1}^{n} t_i$$

A l'équilibre on obtient :

$$\frac{\delta L}{\delta X_{ik}} = \frac{\delta U}{\delta A_i} \times \frac{\delta A_i}{\delta X_{ik}} + \frac{\delta U}{\delta L_i} \times \frac{\delta L_i}{\delta X_{ik}} + \frac{\delta U}{\delta S_i} \times \frac{\delta S_i}{\delta X_{ik}} \times \frac{1}{\bar{X}} - \lambda p_k = 0$$

$$\frac{\delta L}{\delta t_i} = \frac{\delta U}{\delta A_i} \times \frac{\delta A_i}{\delta t_i} + \frac{\delta U}{\delta L_i} \times \frac{\delta L_i}{\delta t_{ik}} + \frac{\delta U}{\delta S_i} \times \frac{\delta S_i}{\delta t_i} \times \frac{1}{\bar{t}} - \mu = 0$$

En donnant à a_{ik}, k_{ik}, f_i et l_i les mêmes significations que précédemment, en appelant

$$g_{ik} = \frac{\delta U}{\delta S_i} \times \frac{\delta S_i}{\delta X_{ik}}$$

$$h_i = \frac{\delta U}{\delta S_i} \times \frac{\delta S_i}{\delta t_i}$$

et en effectuant les transformations appropriées on parvient à l'équation d'équilibre fondamentale :

$$\frac{\mu}{\lambda} = \frac{l_i}{\lambda} + \frac{h_i}{\bar{t}\lambda} - \frac{dX_{jk}}{dtj} \left[p_k - \frac{k_{ik}}{\lambda} - \frac{g_{ik}}{\bar{X}\lambda} \right]$$

deux éléments nouveaux apparaissent :

$$\frac{h_i}{\bar{t}\lambda} \text{ et } \frac{g_{ik}}{\bar{X}\lambda}$$

$\frac{h_i}{\bar{t}\lambda}$ représente la valeur de la satisfaction marginale socialement ressentie du temps passé dans l'activité i et $\frac{g_{ik}}{\bar{X}\lambda}$ la valeur de la satisfaction

sociale marginale retirée de la dernière unité acquise dans l'activité i. Contrairement à J.P. DUPUY nous n'imposons aucune contrainte de signe à la fonction d'utilité par rapport à ses arguments : h_i et g_{ik} peuvent être soit négatives, soit positives, tout dépend de la finalité de l'activité. Une typologie des activités se dessine d'ailleurs d'après les signes de h_i et g_{ik}.

$\frac{h_i}{\bar{t}\lambda}$: valeur sociale marginale du temps	$\frac{g_{ik}}{\bar{X}\lambda}$: valeur sociale marginale du bien	Types d'activités
< 0	> 0	Activités productrices
> 0	< 0	Activités contestant la substitution de biens au temps
> 0	> 0	Activités de loisir coûteuses et "chronophages" (1)
< 0	< 0	Abstention d'activités à la mode

Illustrons de quelques exemples cette typologie :

- Activités productrices : elles correspondent à l'attitude qui valorise l'investissement en biens pour économiser le plus possible de temps : utilisation de nouveaux appareils ménagers plus automatiques (machines à laver, lave-vaisselle, presse à repasser, ...).

- Activité contestant la substitution de biens au temps : c'est l'attitude qui valorise la disponibilité de temps marquée par le refus d'utiliser des instruments offerts par le progrès technique, attitude souvent motivée par le rêve de retour à la nature ou le goût du travail manuel (cuisine au feu de bois, ...).

- Activités de loisir coûteuses et chronophages : est socialement gratifiant le comportement qui fait preuve d'une large disponibilité de temps et de moyens financiers comme en réclament le ski, la voile, ...

- Abstention d'activité à la mode : cette attitude s'oppose à la précédente et ne se relève guère que dans certains groupes contestataires. Exemple : le refus de la télévision dans certains milieux intellectuels.

Cette typologie permet de distinguer des activités qui s'intègrent dans la logique du système de production-consommation de celles qui la contestent. Naturellement il est possible d'observer successivement

---

(1) Terme employé par J.P. DUPUY, op. cit. p. 18 pour traduire le terme anglais "time-intensive".

chez le même individu plusieurs de ces attitudes. Il n'entre pas dans le cadre de notre étude d'approfondir cette analyse, par contre la typologie présentée permet de situer diverses attitudes dans le choix du mode de transport.

Dans le choix du mode de transport le prestige intervient au niveau aussi bien du temps que de l'objet. Mais dans notre société de l'"homme encombré" le prestige des activités productrices que nous distinguons des activités de loisir s'attache de plus en plus au temps, au détriment de l'objet ; l'attitude valorisante est d'utiliser des biens pour économiser de plus en plus de temps. La vitesse devenant l'essentiel de la valorisation sociale, l'"homme encombré" a d'autant plus besoin de transports rapides. S'il était suffisant au début du chemin de fer de créer dans un même train des classes différentes pour marquer l'attachement au confort en même temps que le désir de distinction, actuellement il est nécessaire de manifester la distinction aussi par la vitesse, ce qu'offrent les TEE. C'est une des raisons qui ravivent l'attrait du train par rapport à l'automobile car au-delà d'une certaine distance le train, et principalement les TEE, possèdent un incontestable avantage.

Mais, à la différence de celui de J.P. DUPUY, notre modèle reste applicable dès que l'essentiel du voyage n'est plus de relier deux lieux, c'est-à-dire lorsque le mode de transport est lui-même support d'activité de loisir ; le gain de temps en ce cas n'est plus aussi prestigieux, c'est la disponibilité qui tend à le devenir. L'instrument prend alors plus de signification et la voiture de ce point de vue est avantagée car elle permet d'exhiber la possibilité de rompre à volonté le lien avec le temps de voyage.

A l'aide de notre modèle général nous sommes parvenus à mettre en évidence les différentes composantes du choix du mode de transport. Si la valeur du temps demeure l'élément fondamental, les perceptions individuelles de l'objet et de l'emploi du temps à travers le confort ainsi que leur perception sociale à travers le prestige sont des éléments à ne pas sous-estimer. L'intérêt de notre modèle réside essentiellement en ce qu'il indique aux responsables d'une politique de transport que les usagers ne voient pas uniquement dans le choix d'un mode l'avantage productif. Lorsque l'on calcule la rentabilité sociale d'un mode de transport, il importe de connaître et de dissocier les avantages de différentes natures. L'intégration, fort délicate sans doute, des deux derniers éléments dans le calcul de rentabilité est un choix normatif sur lequel il ne nous appartient pas de prendre position, par contre il nous appartient d'affirmer qu'ils existent et sont de nature à modifier les résultats d'un calcul de rentabilité sociale.

II - LE RISQUE DE TRANSPORT : UN ÉLÉMENT DU CHOIX DIFFICILE À CERNER

Jusqu'alors nous avons raisonné dans un univers certain, or sur les transports, comme sur beaucoup d'activités humaines pèse une incertitude : une décision de transport est en quelque sorte un pari, le pari d'arriver à destination au moment voulu dans l'état souhaité. Quelles incertitudes pèsent sur le voyage ? Le premier risque, le plus fréquent et le moins grave, est celui d'arriver en retard à destination. Le retard peut avoir de multiples causes ; les unes d'origine externe dépendent des conditions atmosphériques, des conditions générales de circulation. Sans faire une étude sur ce point le chemin de fer se montre particulièrement avantagé : le verglas, le brouillard, la tempête gênent beaucoup moins son déplacement que celui des automobiles. Les conditions de circulation favorisent également le train quoique l'évolution récente des chemins de fer français incite à penser que l'étroitesse des marges actuellement prévues pour le transport des voyageurs occasionne lors des demandes de pointes des retards de plus en plus nombreux. Inversement le développement des autoroutes et des déviations évitant les agglomérations ainsi que des efforts d'informations sur des itinéraires secondaires contribuent à réduire la marge d'incertitude de la circulation automobile.

A ces causes externes de retard s'ajoutent des causes internes, résultat de défaillances techniques ou humaines. Dans le premier cas le risque peut se réduire à la panne alors que dans le second il conduit le plus souvent à l'accident. En face de ces défaillances le chemin de fer par son organisation possède plus de ressources pour y remédier rapidement alors que l'automobile peut être immobilisée plusieurs jours, ne laissant parfois au voyageur que la ressource d'employer un autre mode de transport, souvent le train.

Mais les mêmes causes à l'origine d'un retard peuvent se traduire par un risque de nature différente, celui de ne pas arriver dans l'état souhaité à la suite d'un accident corporel ou mortel. Comme on le voit le risque de transport présente une variété de formes allant de la simple perte de temps à la perte de la vie humaine. De l'un à l'autre le risque change de nature, nous considérons que la ponctualité d'un mode de transport est un attribut comme l'est le confort et que le risque de ne pas arriver au moment souhaité n'exige pas une étude théorique spécifique. Par contre, le risque de ne pas arriver dans l'état souhaité et en particulier l'éventualité de la perte de la vie humaine au cours du déplacement, nécessite un approfondissement spécifique.

En effet, une des marques du progrès est non pas d'éliminer l'incertitude car elle est inéluctable mais de mieux la cerner. De tout temps les hommes ont senti cette incertitude peser sur le voyage ; si les bandits de grands chemins ont disparu, si les réseaux de transport ont connu de grandes mutations techniques, le risque n'en a pas été éliminé pour autant. Sur ce plan le chemin de fer et l'automobile s'opposent : au premier est associé une image de sécurité presque légendaire, le second fait figure périodiquement de désastre social au point qu'on le compare souvent aux grandes maladies endémiques de nos sociétés. La recherche des fréquences vise à apprécier de façon chiffrée la connaissance des événements à venir ; à l'aide de différentes statistiques nous tenterons une comparaison des risques respectifs des deux modes en concurrence. Nous montrerons ensuite que devant le caractère brutal et parfois fatal du risque de transport, la théorie économique fournit un cadre inadéquat sinon insuffisant pour éclairer son influence dans le choix.

Devant les difficultés rencontrées nous chercherons à percevoir l'influence du risque à travers des études psychologiques et quelques récents développements dans la socio-économie des transports.

1 - DIFFICULTE DE LA COMPARAISON STATISTIQUE

Des statistiques répandues dans le public, il ressort invariablement un avantage considérable au chemin de fer sur le plan de la sécurité ; on y compare le plus souvent le nombre de tués de la route au nombre de tués à la suite d'un accident de chemin de fer et, afin de montrer que l'on approche objectivement le problème, on rapporte ces chiffres au nombre de voyageurs par kilomètre. Ce calcul est exact, mais on est en droit de se demander s'il compare deux nombres comparables, s'il donne une juste évaluation des risques comparés.

L'obtention de chiffres comparables nécessite l'identité des services rendus ; plus exactement le voyage au cours duquel on s'expose au risque d'accident doit être tel qu'il puisse s'effectuer aussi bien par l'un ou l'autre des modes concurrents. Il s'avère donc nécessaire de circonscrire le domaine où ces deux modes sont effectivement concurrents. D'une façon assez générale tout voyage ferroviaire peut être accompli par la route ; au contraire tout déplacement routier ne peut pas forcément s'accomplir par voies ferrées. Quotidiennement on a de multiples raisons d'emprunter la route (pour des courses, rendre des visites, etc.) pour lesquelles le chemin de fer est inadéquat. En outre un voyage ferroviaire implique l'utilisation quasi obligatoire de la route. L'éventail des services rendus par la route est donc bien plus large que celui du chemin de fer ; il faut par conséquent éliminer toutes les victimes de la route qui ne pouvaient utiliser le rail si l'on veut donner une évaluation véridique du rapport des risques.

Nous avons entrepris notre recherche auprès de trois organismes s'occupant de sécurité routière : la Délégation à la Sécurité Routière, l'Organisme National de la Sécurité Routière et la Direction des Routes et de la Circulation Routière du Ministère de l'Equipement. Ce dernier publie annuellement un recueil de statistiques sur les accidents routiers dressées depuis 1968 par le Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes. Pour les voyages ferroviaires nous disposons de statistiques provenant du Service des Etudes Générales de la Direction Générale de la SNCF. L'objet de notre étude étant limité aux voyages interurbains, nous aurions souhaité trouver les statistiques concernant uniquement le réseau des "grandes lignes". Malheureusement, aucune ventilation n'est faite à ce niveau et tous les chiffres obtenus concernent l'ensemble du trafic ferroviaire. Par la route, les statistiques publiées par le Ministère de l'Equipement sont abondantes et c'est à partir de ce vaste ensemble que nous avons produit les chiffres qui pouvaient le mieux présenter le risque d'un voyage interurbain en automobile.

Deux difficultés pratiques rendent la comparaison délicate. Il s'agit d'abord de déterminer la base statistique qui servira de support à la comparaison ; on a le choix entre :

- le nombre d'accidents par "voyageur-kilomètre",
- le nombre de personnes impliquées par "voyageur-kilomètre",
- le nombre de victimes par "voyageur-kilomètre",
- le nombre de tués par "voyageur-kilomètre".

Le premier mesure le risque d'accident mais ne donne aucune indication ni sur l'importance, ni sur la gravité. Le second tient compte de l'importance car il semble a priori évident que dans un accident de chemin de fer il y ait en moyenne plus de personnes impliquées que lors d'un accident routier. Le troisième et le quatrième nombre donnent une indication sur la gravité du risque. Ces quatre bases de comparaison sont donc complémentaires, il serait souhaitable de les prendre en compte toutes les quatre. Cependant les deux premières notions ne sont statistiquement pas très sûres car, si pour la SNCF le nombre d'accidents est parfaitement connu, il n'en va pas de même des accidents routiers puisque seuls les accidents corporels font l'objet d'un relevé systématique. C'est donc au niveau des accidents corporels que l'on peut faire la comparaison la plus précise et le chiffre qui paraît le plus fiable est le nombre de victimes, c'est-à-dire de personnes ayant subi un préjudice corporel déclaré, même minime. Le nombre de tués mesure la gravité des accidents corporels et c'est dans son appréhension même que réside la seconde difficulté. En effet, la SNCF répertorie seulement parmi les tués les personnes décédées le jour où le lendemain de l'accident (pourtant en 1957, lors de l'accident de Bollène, onze voyageurs sont décédés après le surlendemain de l'accident). Face à cette constance de la SNCF, le Ministère de l'Equipement a, quant à lui, modifié deux fois la définition du "tué". Jusqu'en 1950 il s'agissait des usagers tués ou décédés dans les vingt-quatre heures, de 1951 jusqu'en 1966 on a compté tous les usagers décédés dans les soixante douze heures et depuis 1967 tous les usagers décédés dans les six jours. Le nombre de personnes tuées est donc légèrement sous-évalué pour le chemin de fer par rapport à la route. Notons qu'aucun des deux organismes ne suit la norme préconisée par l'ONU selon laquelle toute personne décédée dans les trente jours après un accident doit figurer dans les victimes tuées.

Outre sur le point de la ventilation entre les voyageurs des "grandes lignes" et ceux des banlieues, les statistiques ferroviaires devraient être modifiées afin d'évaluer correctement le risque d'un voyage ferroviaire. En effet lorsqu'on publie le chiffre des victimes, on présente généralement le nombre des victimes d'accidents à la suite de défaillance de la SNCF. Or du point de vue du voyageur il ne s'agit là que d'un risque particulier auquel il faut ajouter entre autres le risque d'imprudence, de son fait ou non. De même que pour la route, les statistiques doivent tenir compte de toutes les victimes quelle qu'en soit la cause. Dans le tableau II.2 que nous avons constitué nous avons calculé le nombre de tous les voyageurs victimes d'accident ferroviaire ; on y remarque qu'en dehors des années où il s'est produit une catastrophe (1972 : Vierzy), la grande majorité des victimes le sont d'accident individuel engageant le plus souvent leur propre responsabilité.

Pour la route, le problème de l'appréhension statistique est plus délicat pour deux raisons : d'une part le trafic interurbain est beaucoup plus difficile à saisir, d'autre part les automobilistes ne sont pas seuls usagers de la route. On peut résoudre la première difficulté en admettant que le trafic hors agglomération est une approximation convenable de la circulation interurbaine. Cela suppose que le trafic d'intérêt local hors agglomération compense le trafic interurbain en agglomération. Mais la raison majeure du choix d'un trafic hors agglomération est qu'un voyage en chemin de fer implique un voyage routier dans l'agglomération qui peut être lui-même à l'origine d'un accident. De plus, exception faite du trafic "banlieue" des très grandes métropoles, le chemin de fer a un trafic intra-urbain et d'intérêt local assez réduit :

TABLEAU

Statistiques d'accidents :
ferroviaires et routiers (auto

Années	Accidents de la route					
	France entière			Hors agglomération (moins de 5 000 h)		
	Nombre de victimes de la route dont tués	Nombre de victimes d'un accident automobile dont tués	Nombre de victimes d'un accident automobile voyageant en automobile dont tués	Nombre de victimes de la route dont tués	Nombre de victimes d'un accident automobile dont tués	Nombre de victimes d'un accident automobile voyageant en automobile dont tués
1958	184 156 8 126	114 758 4 596	54 110 2 072	98 140 5 647		
1959	187 202 8 409	120 811 4 876	59 078 2 302	100 594 5 931		
1960	193 326 8 295	130 934 5 205	66 085 2 540	102 666 5 839		
1961	222 744 9 140	147 191 5 525	78 314 3 011	124 135 6 984	82 243 4 380	58 093 2 702
1962	239 250 9 928	164 103 6 282	94 280 3 567	132 817 7 626	93 419 5 003	69 072 3 191
1963	250 981 10 027	176 959 6 702	110 216 4 081	141 460 7 884	102 563 5 476	80 753 3 679
1964	275 180 11 105	196 928 7 657	124 808 4 604	152 229 8 557	112 666 6 199	85 295 4 109
1965	302 406 12 150	221 848 8 642	145 378 5 329	166 981 9 547	126 504 6 940	98 101 4 816
1966	302 267 12 158	223 626 8 746	148 883 5 536	167 447 9 557	127 414 7 100	104 759 4 931
1967	314 941 13 585	242 162 10 189	166 276 6 438	174 810 10 580	137 687 8 178	116 618 5 765
1968	326 587 14 274	255 023 10 784	178 655 7 046	180 761 11 109	146 630 8 690	125 138 6 244
1969	325 937 14 664		177 588 7 285	177 100 11 390		123 493 6 493
1970	336 596 15 034		185 320 7 522	180 311 11 516		126 978 6 627
1971	361 524 16 061		201 736 8 101	191 525 12 171		136 057 7 085
1972	388 363 16 545		216 559 8 627	200 976 12 760		140 735 7 571
1973	381 779 15 469		202 977 7 911	179 726 11 865		124 279 7 001
1974						

II.2

tableau comparatif d'accidents
mobiles) en France de 1958 à 1974

Accidents ferroviaires		Evaluation du nombre de voyageurs-kilomètre (en milliards)		Nombre de victimes et de tués par milliards de voyageurs-kilomètre			
				Chiffres au mieux comparables		Chiffres publiés habituellement	
Nombre de victimes d'un accident ferroviaire dont tués	Nombre de victimes d'un accident ferroviaire imputable à la SNCF dont tués	Route (voitures particulières et commerc.)	Fer	Route Victimes d'un accident automobile voyageant en automobile	Fer Voyageurs victimes d'accidents ferroviaires	Route Toutes les victimes de la route	Fer Victimes d'un accident imputable à la SNCF
44 0		74,7	32,3	724 27,7	1,36	2 463 109	
59 1		81,0	32,0	729 28,4	1,84	2 311 104	0,03
44 4		89,0	32,0	742 28,5	1,35	2 172 93	0,13
79 32		97,0	33,6	807 31,0	2,35	2 296 94	0,95
100 46		106,4	35,8	886 33,5	2,79	2 248 93	1,28
72 7		117,8	36,8	936 34,6	1,96	2 130 85	0,19
68 1		128,9	37,8	968 35,7	1,79	2 134 86	0,03
51 12		139,5	38,3	1 042 38,2	1,59	2 167 88	0,31
164 57	24 13	148,1	38,4	1 005 37,4	4,27 1,48	2 040 82	0,62 0,34
137 48	11 0	160,2	38,4	1 038 40,2	3,56 1,25	1 965 85	0,28 -
225 63	98 5	171,4	35,9	1 042 41,1	6,26 1,75	1 905 83	2,72 0,14
160 53	29 0	181,3	38,9	979 40,2	4,11 1,36	1 797 81	0,74 -
127 54	5 0	195	41,0	950 38,5	9,09 1,31	1 726 77	0,12 -
185 54	18 0	208	41,1	970 38,9	4,50 1,31	1 738 78	0,43 -
362 147	256 107	221	43,2	980 39	8,38 3,40	1 757 75	5,92 2,48
110 35	9 3	234	44,7	967 33,8	2,46 0,78	1 531 67	0,20 0,07

en 1973 on peut évaluer ce trafic à 6,5 % du trafic total (1).

Parmi toutes les victimes de la route hors agglomération il s'en trouve qui ne le sont pas d'accident automobile (piéton victime d'un cycliste par exemple, ...), face à ce problème on peut adopter deux attitudes : l'une consiste à considérer toutes les victimes d'un accident automobile (piéton, cycliste, automobiliste ou autre), l'autre, plus restrictive, ne retient que les automobilistes (conducteurs et passagers). Si l'on souhaite comparer les risques corporels encourus par le voyageur la seconde solution est préférable, si l'on veut comparer la sécurité automobile du point de vue de la collectivité, il faut choisir la première solution. Compte tenu de l'optique de notre étude, nous avons naturellement retenu la seconde. Les nombreuses modifications dans la présentation des statistiques de la Direction des Routes ont rendu malaisée la constitution du nombre de victimes d'un accident de la route voyageant en automobile hors agglomération (2). Si ces modifications successives sont le fruit d'un effort louable d'harmonisation et de clarté, elles vont malheureusement à l'encontre de la facilité à suivre l'évolution. Enfin nous n'avons pu surmonter une dernière difficulté : il nous a été impossible de nous procurer ni d'établir une approximation du nombre de voyageurs-kilomètre en automobile hors agglomération (3). Pour pallier cette difficulté nous avons retenu l'évaluation du nombre de voyageurs-kilomètre sur l'ensemble du réseau routier français, ce qui nous a contraint à prendre la même mesure pour le chemin de fer. On introduit de la sorte un biais favorable à la route puisque le nombre des victimes d'accident voyageant en automobile hors agglomération est rapporté au nombre total de voyageurs-kilomètre.

Malgré d'évidents défauts, ces statistiques permettent d'établir une comparaison des risques ferroviaires et routiers (tableau II.3). On constate que les risques d'accidents corporels sont de 100 à 500 fois plus élevés pour la route et les risques d'accidents mortels de 10 à 50 fois. L'avantage du fer par rapport à la route est très net mais moins que ne le laissent supposer certaines statistiques qui indiquent un risque routier plus élevé de l'ordre de 5 000 pour les accidents corporels et de 500 pour les accidents mortels. S'ils réduisent la différence entre les deux risques, les amendements apportés n'entament pas le symbole de sécurité du chemin de fer, ils ouvrent de plus la voie à des comparaisons plus précises.

---

(1) Les 44,7 milliards de voyageurs-kilomètres de la SNCF se répartissaient de la façon suivante en 1973 :
- 6,80 pour la banlieue parisienne,
- 37,90 pour les autres lignes dont : 4,06 en trains omnibus, soit 9 % du trafic total, dont : 1,13 pour le trafic banlieue des quatorze grandes agglomérations, soit 2,5 % du trafic total.

(2) Toutes les agglomérations de moins de 5 000 habitants sont classées hors agglomération.

(3) Cette évaluation techniquement possible serait extrêmement lourde, le SETRA jusqu'ici a renoncé à l'envisager globalement. Des études partielles ont été faites sur certains axes mais en raison de leur caractère confidentiel ne nous ont pas été accessibles.

TABLEAU II.3

Comparaison des risques ferroviaires et routiers

Années	Rapport des risques fer/route par milliards de voyageurs-kilomètre			
	Risques au mieux comparables à l'aide des statistiques disponibles		Risques comparés à partir des chiffres publiés habituellement	
	Nb de blessés route / Nb de blessés fer	Nb de tués route / Nb de tués fer	Nb de blessés route / Nb de blessés fer	Nb de tués route / Nb de tués fer
1958		20,4		-
1959		15,4		3 466
1960		21,1		715
1961		13,2		98,9
1962		12,0		72,6
1963		17,6		447
1964		19,9		2 866
1965		24,0		283
1966	235	25,3	3 290	241
1967	291	32,2	7 018	-
1968	166	23,5	700	592
1969	238	29,5	2 428	-
1970	104	29,4	14 383	-
1971	215	29,7	4 041	-
1972	117	11,5	296,8	30,2
1973	352	43,3	8 152	957
1974				

2 - LE RISQUE DE TRANSPORT ET LA NOTION DE RISQUE NEGLIGEABLE

Après avoir mis en lumière la différence de risque qui caractérise les deux modes de transport, il convient d'analyser comment celle-ci peut influencer le choix. La théorie économique, à l'image d'autres sciences, a d'abord été très déterministe ; elle a ensuite introduit le risque comme un correctif de troisième approximation et depuis la parution du livre de Von NEUMANN et MORGENSTERN le risque est considéré comme un élément essentiel des décisions économiques. Les décisions sont analysées comme des paris et de ce point de vue le choix du mode de transport peut s'interpréter comme le pari de satisfaire le besoin d'être transporté dans l'état souhaité à la destination voulue.

Le but de la théorie de la décision est de déterminer la meilleure attitude en face des conséquences incertaines des actions. L'intérêt

de l'homme à percer les secrets des événements futurs remonte au temps les plus reculés mais pendant très longtemps ce domaine a été laissé aux devins ; la première tentative scientifique remonte à Ceraldo CARDONI qui formula pour la première fois la notion de probabilité. En fait, c'est à PASCAL et aux BERNOULLI, en particulier à Daniel BERNOULLI, que l'on doit les premiers travaux réellement scientifiques, travaux qui seront repris deux siècles plus tard par VON NEUMANN et MORGENSTERN pour présenter une approche du risque en termes d'utilité subjective.

Curieusement il se trouve des auteurs contemporains pour ignorer cette école. Ceux-là considèrent qu'il existe une somme d'argent compensatoire de chaque degré de risque et qu'entre ces deux termes existe une relation linéaire ; ils aboutissent ainsi à des solutions inacceptables par le simple bon sens. D'autres auteurs, cherchant au contraire à appliquer scrupuleusement cette approche au problème des transports, analysent le choix du mode de transport comme une décision identique à celle que réclame un jeu où seules des sommes monétaires interviennent. Or, lorsque la vie humaine est en jeu, il n'est pas évident que des indices d'utilité même subjective puissent apporter des solutions fiables.

21 - L'apparition de la notion de risque négligeable

Finalement les difficultés de la théorie classique de la décision nous ont contraint à rechercher une voie à travers la solution de BUFFON (1) au paradoxe de Saint-Petersbourg.

Le paradoxe de Saint-Petersbourg (2) désigne un jeu rapporté par Nicolas BERNOULLI au mathématicien de MONTMORT qui le publia dans son "Essai d'Analyse sur les jeux de hasard" en 1713. Deux joueurs Pierre et Paul jouent avec une pièce de monnaie. Pierre envoie la pièce de monnaie jusqu'à ce que face apparaisse. Si face apparaît au premier jet il reçoit 1 franc de Paul, si face n'apparaît qu'au second jet il reçoit 2 francs et si face n'apparaît qu'au n ème jet, alors la probabilité de cet événement multipliée par le gain est :

$$\frac{1}{2}^{n} \times 2^{(n-1)} = \frac{1}{2}$$

---

(1) Georges-Louis LECLERC, Comte de BUFFON : "Essai d'Arithmétique Morale" supplément au volume IV de l'Histoire Naturelle, 1777, in Corpus général des philosophes français, XLI, 1, PUF, Paris, 1941.

(2) Nous ne faisons qu'une présentation succincte du paradoxe de Saint-Petersbourg. Nous renvoyons pour étude approfondie aux oeuvres déjà citées de Daniel BERNOULLI, BUFFON, ainsi qu'à Emile BOREL : "Probabilité et certitude", Que sais-je, PUF, 5ème édition, Paris 1969 et Karl MENGER : "Das Unsicherheitsmoment in der Werthehre", Zeitschrift für Nationalökonomie, vol V, Heft 4, 1934, traduit en anglais : "The Role of Uncertainty in Economics" in "Essays in Mathematical Economics in Honour of Oskar Morgenstern", Martin SHUBIK editor, Princeton University Press, Princeton, 1967.

Or n pouvant varier de 1 à l'infini, l'espérance mathématique de gain de Pierre est :

$$\sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{1}{2}\right)^{n} \times 2^{(n-1)} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \ldots + \frac{1}{2}$$

une somme infinie de $\frac{1}{2}$ ce qui est un nombre infiniment grand.

Pierre étant sûr de gagner, quelle somme doit-il donner à Paul pour que le jeu soit équitable ? D'après le critère de l'espérance mathématique ce devrait être une somme infiniment grande ou du moins une très grande somme, or il n'y a d'homme de bon sens qui accepterait de jouer à ce prix. Le paradoxe réside bien dans cette divergence entre le résultat mathématique parfaitement exact et le comportement.

Pour résoudre ce paradoxe Daniel BERNOULLI (1) à la suite de CRAMER, écrit que les mathématiciens évaluent l'argent en fonction de sa quantité alors que les personnes de bon sens l'évaluent en fonction de l'utilité qu'ils en retirent. Mais MENGER (2) montre clairement que ceci ne fait aucunement disparaître le paradoxe. Face à ce problème l'attitude de Joseph BERTRAND (3) est d'affirmer qu'il n'y a pas de paradoxe, que quel que soit l'enjeu, Pierre à la longue est sûr de ruiner Paul. Emile BOREL quant à lui propose d'expliquer le paradoxe par le fait que seuls les premiers termes de la série sont réellement négociables. Au-delà de 23 ou 24 jets l'éventualité de gagner devient absolument illusoire et les sommes à verser si énormes qu'elles ne pourraient être payées. Avant même qu'il puisse gagner, Pierre, même milliardaire, est presque certain qu'il se ruinerait.

BUFFON fut sans doute le premier à faire appel à la notion de risque négligeable pour expliquer le paradoxe de Saint-Petersbourg. Il distingue l'impossibilité mathématique de l'impossibilité morale : "on sent bien que c'est un certain nombre de probabilités qui fait la certitude morale, mais quel est ce nombre" (4). Il l'estime lui-même en ces termes : "Une probabilité doit être regardée comme nulle dès qu'elle n'est que $\frac{1}{10\ 000}$, c'est-à-dire qu'elle est aussi petite que la crainte non sentie de la mort dans les vingt-quatre heures (...). L'homme le plus faible pourrait tirer au sort sans émotion si le billet de mort était mêlé avec 10 000 billets de vie" (5). Cette idée a été reprise par COURNOT puis par Emile BOREL qui la qualifia de loi unique du hasard.

---

(1) Daniel BERNOULLI, op. cit. p. 33 à 34.

(2) Karl MENGER, op. cit.

(3) Cité par Emile BOREL : "Traité de calcul des probabilités et de ses applications". Tome IV, Fascicule III : "Valeur pratique et philosophie des probabilités", Gauthier-Villars, Paris, 1952.

(4) BUFFON, op. cit. p. 459.

(5) BUFFON, op. cit. p. 470.

"Les événements dont la probabilité est suffisamment petite ne se produisent jamais" (1). La loi unique du hasard ainsi énoncée est assez imprécise, Emile BOREL a cherché à en spécifier le contenu. Il considère qu'une probabilité négligeable n'a pas la même valeur selon le niveau auquel on se situe et il distingue les probabilités négligeables à l'échelle humaine, à l'échelle terrestre, à l'échelle cosmique et à l'échelle super-cosmique. Il écrit qu'une probabilité est négligeable à l'échelle humaine lorsqu'il apparaît que les hommes les plus prudents et les plus raisonnables doivent agir comme si cette probabilité était nulle, c'est-à-dire doivent courir le risque de voir se réaliser l'événement que cette probabilité concerne, même si cet événement est un grand malheur. "D'après les statistiques du temps de paix, le nombre des accidents mortels de la circulation dans une ville comme Paris, dont la population est de plusieurs millions d'habitants, est en moyenne d'un par jour. C'est-à-dire que pour chaque Parisien qui circule pendant une journée, la probabilité qu'il soit tué au cours de la journée par un accident de la circulation est d'environ un millionième. Si pour éviter ce léger risque un homme renonçait à toute activité extérieure et se cloîtrait dans sa maison ou s'il imposait cette réclusion à sa femme ou à son fils, on le regarderait comme un fou. C'est-à-dire que les personnes les plus sages et les plus raisonnables n'hésitent pas à affronter couramment un risque de mort dont la probabilité atteint un millionième" (2).

L'ordre de grandeur de la probabilité négligeable proposé par Emile BOREL, obtenu en comparant le nombre d'accidents à celui des habitants d'une grande ville, est mieux étayé que celui de BUFFON. Mais cette détermination reste bien empirique.

22 - Le risque de transport : calcul et perception

Considérons maintenant les risques d'un voyage routier et d'un voyage ferroviaire. Différentes solutions se présentent pour calculer la probabilité d'un accident. Une première méthode suppose que chaque Français est a priori exposé aux mêmes risques : on assimile la probabilité à la fréquence observée dans les accidents et on rapporte le nombre annuel de personnes blessées ou décédées à la population française ; les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Probabilité (3)	Route	Fer
D'un accident corporel	0,0025	0,000003
D'un accident mortel	0,00013	0,000001

Une seconde méthode plus séduisante consiste à rechercher la fréquence d'accident par voyageur-kilomètre, mais à notre sens elle est moins fiable en raison des évaluations approximatives des distances

(1) Emile BOREL : "Les Probabilités et la Vie", Que sais-je ? PUF, 5ème édition, Paris 1961, p. 38.

(2) Emile BOREL, "Probabilité et Certitude", op. cit. p. 41.

(3) Ces évaluations ont été faites à partir du tableau II.2. Nous avons pris comme base de calcul les années 1966 à 1974.

parcourues. Sur la base de 4 000 et 800 kilomètres les évaluations des distances parcourues par les Français au cours d'une année respectivement par la route et par le fer, on trouve les résultats suivants :

Probabilité (1)	Route	Fer
D'un accident corporel	0,0037	0,000004
D'un accident mortel	0,0015	0,000001

L'ordre de grandeur est le même par les deux méthodes ; il en ressort que les risques en automobile apparaissent notablement supérieurs au seuil fixé par Emile BOREL et que le risque ferroviaire au contraire se situe au niveau de la probabilité négligeable. Mais la détermination empirique d'Emile BOREL appelle deux remarques, l'une sur l'horizon considéré, l'autre plus générale porte sur la subjectivité de la notion de seuil de risque négligeable.

BOREL envisageant uniquement le risque journalier, se cantonne dans le très court terme, alors que nous avons effectué nos calculs sur la base de l'année. Or l'horizon considéré a incontestablement une influence sur la notion de risque négligeable : un risque ténu au niveau de la journée peut cesser de l'être au niveau de l'année, a fortiori de la dizaine d'années ou de la vie. L'influence peut se traduire par deux types de réactions : le refus systématique de l'automobile ou une renonciation circonstanciée. Si le risque n'est pas considéré comme négligeable dans le court terme, l'attitude la plus logique est de renoncer à tout voyage automobile en refusant la motorisation alors que la personne dispose des moyens physiques, intellectuels et financiers pour conduire. Par contre, si le risque est perçu comme négligeable seulement dans le long terme, la personne renoncera à l'automobile pour un voyage particulier en raison de la longueur du parcours, des conditions météorologiques ou de circulation. De toute façon, s'il existe une réelle aversion du risque de transport, celle-ci devrait conduire un certain nombre de personnes à renoncer au voyage automobile au bénéfice du ferroviaire en supposant que le comportement prudent consiste à rechercher la probabilité d'accident la plus faible.

Mais le seuil de risque négligeable n'est pas une donnée objective qui s'impose uniformément à tous les individus. Nous rejoignons ici la conception keynesienne de la probabilité. L'idée fondamentale de KEYNES (2) est que l'on n'a jamais le droit de parler de probabilité d'un événement mais seulement de la probabilité d'un jugement porté par une personne déterminée sur cet événement. Le voyageur se forge une opinion sur la survenance d'un événement d'après les informations qu'il reçoit. Les média mais aussi le nombre de personnes de sa connaissance impliquées dans un accident concourent à former son évaluation subjective.

---

(1) Ces évaluations ont été faites à partir du tableau II.2. Nous avons pris comme base de calcul les années 1966 à 1974.

(2) John M. KEYNES : "A treatise on Probability", Mac Millan & Co, Cambridge, 1921.

3 - LA REMISE EN CAUSE DE L'AVERSION DU RISQUE

C'est aux psychologues que l'on doit les recherches les plus approfondies sur la subjectivité de l'évaluation du risque. Ceci les amène à remettre en cause l'aversion du risque. Au-delà, des sociologues voient dans ces explications psychologiques individualistes la simple manifestation d'un système particulier de production. Ils considèrent que les causes profondes de cette attitude paradoxale se situent non dans les individus où elles ne sont que résurgence mais dans le système économique lui-même. Ainsi s'éclaircirait le paradoxe d'une société qui collectivement rejette le risque mais se comporte comme si elle ne souhaitait pas son élimination, notamment en matière de transport. L'explication socio-économique, loin de rendre caduques les explications psychologiques met en lumière comment les incitations au risque sont l'expression de tendances agressives inhérentes à la nature humaine et comment elles trouvent à l'époque contemporaine dans la conduite automobile un champ privilégié d'expression.

31 - Les incitations à la prise de risque

Dans la plupart des pays industrialisés, de nombreuses études ont été consacrées au comportement de l'homme sur la route. En France une étude approfondie réalisée sur ce thème est l'oeuvre de Pierre-Henri GISCARD (1) dans le cadre des travaux de l'ONSER. L'analyse des divers facteurs psychosociologiques de la prise de risque a été faite à partir d'interviews non directives de conducteurs (2). Nous nous servirons surtout de cette étude pour dégager les principales incitations à la prise de risque.

Les résultats des réponses à la question suivante, destinée à situer l'automobile parmi d'autres modes, sont présentés dans le tableau II.4. "Une personne qui vous est chère doit partir en voyage. Tous les moyens de transport sont possibles. Quel est le moyen de transport qui vous donnerait le plus d'inquiétude : avion, auto, bateau, moto, train ?". Un degré moyen d'inquiétude a été calculé en faisant l'hypothèse de l'équidistance des rangs et en pondérant les réponses par les coefficients 5, 4, 3, 2, 1, affectés respectivement au rang 1, 2, 3, 4, 5. La moto apparaît comme le mode qui suscite le plus d'inquiétude, suivie de l'avion et de l'automobile (3) que les hommes redoutent plus que les femmes. Puis viennent le bateau et le train, ce dernier considéré généralement comme le plus sûr des moyens de transport ; son image de sécurité s'avère conforme aux statistiques.

---

(1) Pierre-Henri GISCARD : "Conduite automobile et Sécurité", Cahiers de l'ONSER, déc. 1966 et mars 1967, n° spécial.

(2) Laissons Pierre-Henri GISCARD s'exprimer sur cette méthode : "Au-delà des choses exprimées, vraies ou fausses, originales ou banales, ces interviews en profondeur permettent d'atteindre mieux que ne l'auraient fait de simples questionnaires, le niveau des réalités psychologiques signifiées, qui seul permet de comprendre, d'expliquer et éventuellement, par la suite d'intervenir pour modifier", op. cit. p. 76.

(3) Aujourd'hui peut-être l'ordre correspondrait-il mieux aux statistiques en plaçant l'automobile devant l'avion.

TABLEAU II.4

Comparaison des images de sécurité des divers modes de transport

Moyen de transport	Cité					Degré moyen d'inquiétude		
	En 1er	En 2ème	En 3ème	En 4ème	En 5ème	Population générale	Hommes	Femmes
Moto	438 (69 %)	104 (17 %)	27 (4 %)	4 (1 %)	5 (1 %)	4,67	4,69	4,66
Avion	108 (17 %)	163 (26 %)	230 (36 %)	55 (9 %)	22 (4 %)	3,48	3,45	3,52
Auto	26 (4 %)	269 (43 %)	168 (27 %)	88 (14 %)	27 (4 %)	3,31	3,45	3,27
Bateau	8 (1 %)	36 (6 %)	94 (15 %)	238 (38 %)	202 (33 %)	1,98	1,94	2,02
Train		5 (1 %)	59 (10 %)	220 (35 %)	294 (47 %)	1,61	1,63	1,59

A partir des réponses à plusieurs autres questions posées dans le but d'analyser la connaissance des risques de la circulation routière, on a noté une sous-estimation des risques de l'ordre de 45 % pour le nombre de morts et 58 % pour les blessés. Cependant, près de la moitié des conducteurs attribuent aux accidents de la route plus de décès qu'au cancer, alors qu'ils n'en représentent qu'un dixième. Cette même enquête décèle une large ignorance des comportements de sécurité (méconnaissance des distances de freinage, erreur dans la conduite à tenir en cas d'éclatement de pneus, etc.). Beaucoup d'automobilistes se montrent passifs fatalistes, voire même quelque peu fétichistes. Pourtant tous les conducteurs semblent avoir conscience que la conduite automobile mène plus ou moins à des situations risquées.

Finalement on peut dire que la sous-estimation des risques indique une tendance à considérer le risque d'accident comme négligeable. La formule "l'accident n'arrive qu'aux autres" reflète bien l'attitude de la plupart qui tout en admettant intellectuellement l'existence du risque ne se sent pas menacée et décide de passer outre. Mais on peut aller plus loin pour éclaircir ce comportement en remettant en cause la prétendue aversion naturelle du risque qui jusqu'alors a été implicitement ou explicitement l'hypothèse fondamentale.

L'excitation née des conséquences incertaines d'un acte provoque souvent une sensation ambiguë non dénuée de plaisir. L'aspect de pari, déjà évoqué, contenu dans le déplacement le rapproche d'un jeu dans lequel la mise est énorme, la vie humaine, et le risque de perdre considéré comme très petit. Pour que cette sensation apparaisse il faut une vulnérabilité aux émotions plus qu'au danger. 34 % des hommes, 28 % des femmes reconnaissent que l'agrément de la conduite automobile vient pour une grande part des petits risques que l'on peut prendre en les contrôlant bien ; ce plaisir est plus marqué chez les jeunes (48 %) que chez les personnes âgées (29 %). Jean BAUDRILLARD dépeint ainsi ces

sentiments à l'égard de la conduite automobile : "L'intimité de l'automobile est celle d'un métabolisme accéléré du temps et de l'espace et c'est tout ensemble le lieu toujours possible de l'accident où vient culminer dans un hasard, une chance parfois jamais réalisée, mais toujours imaginée, toujours involontairement assumée d'avance, cette liberté formelle qui n'est jamais si belle que devant la mort" (1).

Le risque "peut constituer un instrument de progrès dans la connaissance de soi-même". Là encore les jeunes sont plus enclins que les vieux à explorer leurs propres limites ou à les repousser ce qui va dans le sens de leur processus de croissance. La conduite automobile se propose comme une occasion d'explorer de nouvelles limites. La prise de risque valorise la personne non seulement à ses propres yeux mais aussi aux regards des autres. Au risque est liée la peur et il faut montrer qu'on est capable de la dominer. Combien d'automobilistes sont fiers de leur moyenne et consacrent leur gain de temps à raconter leurs exploits ? (2).

Toujours selon Pierre-Henri GISCARD, le goût du risque prend ses racines dans l'instinct de destruction qui gît dans chaque homme et qui parfois se retourne contre lui-même. La prise de risque est un moyen de libérer cette agressivité instinctive et comme le souligne Pierre DELTEIL "ces pulsions agressives normalement contenues à l'intérieur de soi (...) sont très facilement libérées chez cet être hybride moitié homme, moitié machine, constitué par l'automobiliste et sa voiture" (3). Cette agressivité traduit aussi le sentiment de domination que fait naître le désir de compétition. L'automobiliste est d'autant plus agressif qu'il est engagé dans un "combat" généralement anonyme. La voiture protège de la prétention des autres et se mue le cas échéant en char d'assaut. Par la puissance qu'elle développe elle prolonge les tendances agressives jusqu'à transformer la route en un véritable champ de compétition.

Ces motivations font de l'individu l'élément fondamental de l'insécurité, impression que traduit parfaitement André SOUBIRAN : "C'est donc le conducteur, inconscient, vaniteux, susceptible, agressif, égoïste ivre d'une vitesse, d'une puissance obtenue sans effort (?) que l'on retrouve omniprésent dans chacun des problèmes posés par la circulation urbaine et routière. C'est ce conducteur qui pose des problèmes quasi insolubles à tous ceux qui veulent l'empêcher de se tuer au risque de surcroît de tuer les autres dès qu'il prend en main un volant, car il est bien établi que le facteur humain est responsable de plus de 80 % d'accidents de la circulation" (4).

---

(1) Jean BAUDRILLARD : "Le Système des objets", op. cit. p. 83.

(2) Cf. Philippe d'IRIBARNE : "La Politique du bonheur", op. cit. p. 35 et 36.

(3) Pierre DELTEIL : "Instinct, Raison et Conduite Automobile", in "L'Automobile et l'Homme", SPES, les Editions Ouvrières, Paris, 1968, p. 175.

(4) André SOUBIRAN : "Médecine et Automobile", Gazette Médicale de France, n° 16, mai 1970, p. 3500.

32 - Le paradoxe de l'accident dans une société de production

Les explications psychologiques conduisent à dresser une typologie des comportements. Même si plusieurs motivations éventuellement antagonistes orientent le comportement, par nature ces explications conduisent en dernier ressort à conclure à l'individualité de chaque cas. Ces explications individualistes ne satisfont pas des sociologues partisans d'une analyse plus structuraliste. Selon ce courant de pensée, l'analyse psychologique se cantonne à la description sans pénétrer le phénomène. Elle ne saurait rendre compte de l'ampleur sociale du phénomène et de sa signification ni en démonter les ressorts dans la mesure où elle est le produit du même système socio-économique qui a constitué l'accident comme un "mal nécessaire", la "rançon du progrès", etc.

Dans une étude pour le compte de la DGRST, C. HARMELLE et O. QUEROUIL (1) cherchent à dégager la signification sociale de l'accident de la route. L'accident est le produit d'un système dont la caractéristique fondamentale est une morale de l'accumulation et de la rentabilité érigée par la classe marchande en réaction contre les valeurs ostentatoires de dilapidation. Dans ce contexte l'accident apparaît comme une plaie, il représente une véritable destruction de richesse et est ressenti comme une perte inadmissible. Il est alors tentant de rechercher la signification de l'accident à travers la pérennité d'une valorisation de la perte dans différents systèmes primitifs. BAUDRILLARD analyse la résistance à la sécurité, donc l'acceptation du risque, comme un refus de domination. La possibilité d'accident serait une attitude de défi vis-à-vis de l'ordre social ; l'accident pourrait s'assimiler au potlatch destiné par la superbe destruction (ou don) de ses propres biens à confondre l'adversaire et à le provoquer à surenchères. Cette démonstration de puissance se traduit par une rotation du pouvoir puisqu'était toujours réservée et même attendue la possibilité d'une réplique. HARMELLE et QUEROUIL refusent cette assimilation de l'accident au potlatch parce que ce dernier avait institutionnellement force de loi ; il avait une fonction logique par rapport à la société tandis que l'accident est en contradiction avec l'accumulation, valeur fondamentale de la société industrielle (2). Ensuite la destruction dans le potlatch se limite aux biens, y compris parfois les esclaves, mais elle ne vise jamais le corps de l'adversaire et exclut l'automutilation et le suicide.

L'accident s'assimilerait-il mieux à la notion plus familière de sacrifice ? Comme le potlatch, le sacrifice est une dépense improductive mais s'en sépare de par son aspect de contrat tacite avec une puissance divinisée qui garantit le pouvoir terrestre. Le sacrifice est une marque des sociétés en voie d'étatisation dans la mesure où il perpétue et consolide le pouvoir. Alors l'accident serait-il le sacrifice humain aux dieux modernes du Progrès ? Alfred SAUVY écrit que "la société moderne consent un sacrifice pour conserver une façon de vivre. Ce sacrifice est accepté parce qu'il est collectif et ne comporte aucune décision

---

(1) C. HARMELLE et O. QUEROUIL : "Recherche exploratoire sur la signification sociale de l'accident", CERFI, Convention d'aide à la recherche de la DGRST, n° 74 70300.

(2) Nous préférons parler ici de la société industrielle plutôt que de société capitaliste car si à l'origine l'industrialisation est le fait de la société capitaliste, à l'heure actuelle le mythe de l'accumulation ne se cantonne plus à ce type de société, au moins dans son sens restreint.

nominative de mort" (1). Mais l'absence de désignation des victimes et la réprobation affichée tant au niveau individuel que collectif empêchent l'assimilation de l'accident aux sacrifices des sociétés préindustrielles. Finalement l'accident constitue un avatar moderne de la dépense improductive qu'HARMELLE et QUEROUIL imputent au système capitaliste. Ils soulignent fort justement que dans la société capitaliste la dépense improductive n'est plus la marque du sacrifice ; le sacrifice au regard de l'éthique du système, c'est au contraire "la vie de privation" dans le but d'accumuler et de s'approprier des richesses. L'accident serait perçu comme un malheur, une fatalité personnelle, à la limite un sacrifice "privatisé, subjectivisé".

En fait ce qui nous paraît ressortir le plus distinctement c'est l'aspect paradoxal de la prise de risque et de son aboutissement toujours possible, l'accident. A ce sujet une distinction fondamentale s'impose : la prise de risque attachée à la fonction de l'entrepreneur du système capitaliste est de nature différente de celle qu'assume un conducteur d'automobile. Pour le premier le risque est couru dans l'espoir d'accumuler des richesses, il s'intègre parfaitement dans le système, pour le second il laisse planer une destruction toujours possible de la machine et parfois de l'homme. Pour corroborer cet aspect paradoxal il suffit de reprendre l'étymologie du mot accident. L'accident c'est quelque chose qui survient mais qui n'est pas essentiel ; par suite il s'agit d'un événement heureux ou malheureux qui vient rompre la marche régulière des choses ; l'accident apparaît enfin comme le symptôme d'une disfonction du système. Il est naturel, alors que tout un discours de l'accident cherche à lui conférer le caractère de sanction d'un état de marginalité. L'accident est le résultat logique d'un comportement non conforme : on incrimine le véhicule en mauvais état et plus souvent encore le conducteur qui a transgressé un code (2). La prise de risque et sa conséquence, l'accident, contesterait le pouvoir étatique en tant qu'il s'est arrogé l'exclusivité du droit de vie ou de mort (justice, police, armée, etc.) et si la puissance publique intervient en prônant la sécurité, en cherchant les responsables c'est qu'en fait, ces manifestations à efficacité réduite serviraient d'alibi à un système fondé sur l'accumulation et qui doit préserver sa cohérence apparente.

Cette présentation du risque et de l'accident est séduisante ; sans remettre en cause l'analyse psychologique des incitations aux risques, elle nous permet de l'intégrer dans un schéma explicatif plus fécond. Certains comportements de destruction inscrits dans la nature humaine et réprimés par les valeurs de la société industrielle s'expriment à travers ces multiples motivations psychologiques dont il serait illusoire de dresser une liste exhaustive. Cette résurgence explique les difficultés et l'ambiguité d'une politique de prévention efficace car la résistance à

---

(1) Alfred SAUVY, op. cit. p. 88 et 89.

(2) Dans un document remis aux candidats du permis de conduire le Colonel CHICHIGNOUD de la Gendarmerie Nationale écrit : "En ce qui concerne les accidents de la route survenus en France depuis une dizaine d'années, les causes principales se répartissent à peu près comme suit :
- Fautes des usagers de la route 92 %
- Route et environnement 4 %
- Etat des véhicules 3 %
- Causes indéterminées 1 %".

la sécurité n'est pas seulement le fait des groupes de pression proches de l'automobile mais de toute l'opinion publique, "un fait de culture collectif et individuel à la fois" pour reprendre l'expression de Michel ROCHE (1). A ce propos, Alfred SAUVY cite la déclaration du Ministre de l'Equipement lors de la très modeste modification du Code de la Route en 1967 : "Nous sommes allés à la limite de ce qui n'était pas trop impopulaire, ni trop cher" (2).

33 - L'automobile lieu privilégié de prise de risque

L'attraction du risque est doublement favorable au choix de la voiture, d'une part parce que la voiture est statistiquement plus dangereuse que le train, d'autre part et surtout parce que la prise de risque est assumée dans des conditions radicalement différentes au volant d'une automobile et dans un compartiment d'une voiture de chemin de fer. La recherche de sensations, de valorisation sociale, du dépassement de soi-même reste théoriquement possible au cours d'un voyage ferroviaire et il n'est pas douteux que ces motivations aient pu s'exercer à l'époque du chemin de fer naissant. Mais en fait l'absence de maîtrise de la conduite ne permet pas une perception personnalisée de la prise de risque. Le contrôle du véhicule, donc le contrôle du risque est un bien meilleur stimulant dans la quête de plaisir. La conduite automobile permet d'accomplir des performances sur soi-même en étant confronté directement au danger et de reculer ses propres limites. La contravention mais plus encore l'accident routier vécus comme l'attestation d'une véritable prise de risque ne suscite pas les mêmes sentiments que l'accident ferroviaire. Dans le premier on est tout à la fois auteur et victime alors que dans le second on est réduit au simple rôle de victime. "Au volant on en profite, on appuie sur le champignon, on double, on vit dangereusement (jusqu'au jour où on meurt mais vivre libre n'a de sens qu'en fonction de la mort que cela peut entraîner)" (3).

Une telle divergence dans l'assomption du risque éclaire le contraste des attitudes collectives et individuelles face aux accidents ferroviaires et routiers. Le moindre accident ferroviaire, saisi par les media, devient une catastrophe alors que des accidents routiers de gravité comparable restent des faits divers. Il est vraisemblable que si le transport ferroviaire présentait le même niveau de risque que la route, des pressions multiples s'exerceraient avec véhémence pour le réduire ou mettre en cause le transport ferroviaire alors que l'opinion s'habitue à l'hécatombe de la route : il est banal d'entendre cette phrase typique : "16 000 morts, bien sûr, c'est énorme mais vous savez maintenant si on n'avait pas ces 16 000 morts là on les aurait ailleurs, on a toujours eu quelque chose, on aura toujours quelque chose" (4).

---

(1) Michel ROCHE, op. cit. p. 86.

(2) Alfred SAUVY, op. cit. p. 88. Citons aussi l'exclamation que Julien FABRE et Hervé MICHAEL placent dans la bouche du Président POMPIDOU : "Les problèmes de l'automobile, les problèmes de l'automobile. Mais que voulez-vous que j'y fasse si les Français aiment la bagnole" op. cit. p. 9.

(3) Julien FABRE et Hervé MICHAEL, op. cit. p. 16.

(4) Citation tirée de l'étude de C. HARMELLE et O. QUEROUIL, op. cit. p. 22.

Pour le train la rareté des accidents ferroviaires est un argument essentiel de sa politique commerciale. La sécurité doit rester une priorité absolue pour laisser le risque au seuil minimal possible quelle que soit par ailleurs la qualité du service. Il est permis de mettre en doute la substituabilité entre une amélioration du service et un accroissement du risque si celui-ci dépasse un seuil acceptable. En choisissant le train le voyageur choisit entre autres éléments la sécurité en ce sens que le seuil de risque est considéré comme tout à fait négligeable. Au-delà de ce seuil la fonction de transport du chemin de fer pourrait être remise en cause en raison de sa nature de service collectif car le train n'est pas un moyen de valoriser le risque.

Pour la route au contraire les améliorations techniques de l'infrastructure comme du véhicule en améliorant la qualité de service, en particulier par une vitesse potentielle accrue, ne sont pas de nature à faire diminuer les risques. C'est l'avis de Michel ROCHE, un responsable de la sécurité routière : "On peut bien mettre à la disposition des automobilistes des routes améliorées, donc semble-t-il, moins exigeantes, ainsi que des véhicules plus efficaces, on n'obtiendra pas une diminution du nombre des accidents. On l'obtiendra d'autant moins que ces deux améliorations auraient pour effet d'augmenter le nombre de kilomètres parcourus" (1). De même les améliorations techniques touchant au véhicule se retrouvent dans la publicité comme une apologie détournée du risque (2). Finalement tout se passe comme si l'individu et le système acceptaient un niveau constant de risque (3).

Dès lors on comprend la modestie et la précarité des résultats des campagnes de sécurité car elles s'attaquent rarement aux causes fondamentales de l'insécurité. Par exemple la limitation physique de la vitesse serait définitive en interdisant la circulation des véhicules trop rapides. Cette mesure radicale se heurterait aux intérêts des milieux proches de l'automobile mais elle serait aussi perçue comme une brimade supplémentaire à la liberté individuelle (4). Même si la vitesse est actuellement banalisée, le rêve de l'individu se réfugie dans le thème de la "réserve de puissance", argument immédiatement repris par la publicité comme un gage de prudence (5). On peut se demander avec HARMELLE et

---

(1) Michel ROCHE in C. HARMELLE et O. QUEROUIL, op. cit.

(2) Citons par exemple la publicité d'une firme de pneumatique : "vos pneus ont vos réflexes".

(3) La commission d'étude présidée par Pierre GUILLAUMAT dans ses orientations pour les transports terrestres manifeste plus d'optimisme à cet égard.

(4) Une récente étude de l'ONSER a montré que, si l'opinion est dans l'ensemble favorable à la limitation de vitesse, les hommes de 18 à 35 ans, les cadres supérieurs, les professions libérales et les commerçants émettent beaucoup de réticence. Ceci corrobore ce que nous écrivions sur la signification sociale de la vitesse puisque sa limitation est perçue comme un obstacle à la révélation de puissance mais seulement chez les personnes qui peuvent le mieux l'exprimer par leur véhicule, cf. "Etudes des représentations sociales en matière d'actions de sécurité et d'accidents de la route", ONSER, juin 1975.

(5) "Soyez prudents : accélérez (...). Il y a des moments où la vitesse n'est pas dépassée. "Publicité de la Gulf Volkswagen, Express n° 1320 25-31 ocotbre 1976.

QUEROUIL si "la gratuité des transports en commun et des chemins de fer n'aurait pas plus d'efficacité que n'importe quelle mesure de prévention. Et il n'est pas sûr que le coût d'une telle mesure envisagé en termes d'économie généralisée soit négatif". Mis à part son aspect un peu utopique cette mesure laisserait la liberté de choix mais elle ne conduirait pas automatiquement, pensons-nous, à une diminution du risque routier car l'automobile, mode personnel, et parfois personnifié, demeurerait toujours un lieu privilégié de prise de risque.

CONCLUSION

Il paraît à travers cette étude que le risque joue dans un sens favorable au train et à la voiture. Une grande variété de motivations sont susceptibles d'inciter à choisir la voiture en choisissant plus ou moins consciemment le risque. D'autres motivations opposées inspirent un comportement prudent de refus de risque et sont propres à faire rejeter l'automobile au bénéfice du train. Favorable tantôt à l'un tantôt à l'autre mode, on ne peut affirmer dans quel sens le risque joue le plus. Cet aperçu montre l'intérêt qu'une étude plus spécifique de l'appréhension du risque dans le choix du mode de transport présenterait dans la perspective d'intégrer cette variable dans les modèles de choix. La connaissance actuelle qui nous laisse au seuil du problème ne nous autorise pas à la prendre en compte explicitement. Nous dirons que l'image de sécurité que présente le transport ferroviaire lui garantit une clientèle attachée à cette sécurité légendaire et qu'une aggravation sensible des risques pourrait avoir de graves répercussions sur son évolution. Le trafic routier paraît moins menacé par le risque parce que les conditions d'assomption du risque le rendent plus acceptable, si ce n'est parfois plus ou moins consciemment recherché.

III - L'ENVIRONNEMENT SOCIO-ÉCONOMIQUE

1 - L'URBANISATION ET LE CHOIX DU MODE DE TRANSPORT

Phénomène sans cesse en expansion, l'urbanisation entraîne des modifications rapides et brutales de l'occupation de l'espace. Cette croissance simultanée des villes et de la motorisation pose entre autres le délicat problème de l'encombrement de l'espace. Tant que l'individu peut considérer comme illimité l'espace nécessaire à l'usage de sa voiture, on peut admettre du strict point de vue de l'urbanisation qu'il n'y a aucune action réciproque entre lui et les autres utilisateurs. Par contre, à partir du moment où l'espace devient encombré, chaque nouvel utilisateur influence par l'espace qu'il occupe le comportement des autres utilisateurs potentiels. La décision d'un individu d'acquérir et d'utiliser une automobile peut modifier le comportement de ses concitoyens jusqu'à éventuellement en dissuader d'utiliser, voire d'acquérir, une automobile.

Mais l'urbanisation ne se développe pas indépendamment de la motorisation. L'automobile est en grande partie responsable d'un type d'urbanisation qui à son tour la rend nécessaire. L'interdépendance de la motorisation et de l'urbanisation doit être analysée car elle intervient de façon opposée dans le choix entre l'automobile et le train. A la fois elle incite et dissuade d'user de la voiture selon que l'on habite dans la couronne urbaine ou bien au coeur de la ville.

11 - Urbanisation moderne et modes de transport

Pour certains auteurs, il n'existe pas de relation étroite entre l'exode rural et les facilités de circulation offertes par le chemin de fer puis par l'automobile (1). Cependant si leur développement n'a pas constitué un facteur décisif de l'urbanisation leur apparition a modelé et modèle encore les formes d'urbanisation. Quelle que soit l'époque, l'urbanisme est toujours représentatif de l'organisation politique, économique et commerciale dominante. A travers la ville s'expriment les aspirations artistiques, spirituelles et religieuses d'une époque. Mais à côté de ces formes humaines qui ont façonné les villes, des forces techniques ont joué un grand rôle dans le développement spatial de la ville. Les grandes cités de l'Antiquité et celles du Moyen-Age se sont étendues en fonction du moyen principal de déplacement qui était alors la marche à pied (2). Jusqu'au début de la révolution industrielle les possibilités d'extension ont été fort limitées. C'est la révolution industrielle qui

---

(1) Cf. Maurice WOLKOWITSCH "Géographie des transports", Armand Colin, Paris, 1973, p. 279-280.

(2) Même la Rome antique qui à son apogée selon la grande majorité des historiens a dépassé le million d'habitants, ne s'est guère étendue au-delà des limites fixées par Auguste, soit 2 000 hectares. Par contre les maisons atteignaient souvent sept étages (cf. Jérôme CARCOPINO "La vie quotidienne à Rome à l'apogée de l'empire", Hachette, Paris, 1939).

a été le facteur principal de l'urbanisation du XIXème siècle mais la croissance spatiale n'a été possible que grâce au chemin de fer, au tramway, à l'autobus et enfin à la voiture. Chacun de ces modes de transport a eu un effet favorable sur le développement spatial de la ville mais chacun y a contribué de façon spécifique. En particulier l'apparition de la voiture conduit à développer un type d'habitat et une forme de distribution commerciale qui impliquent l'utilisation de la voiture. On constate en effet une motorisation plus élevée dans les zones périphériques récemment urbanisées. Cependant, s'agit-il d'une surmotorisation ?

L'analyse de l'influence du moyen de transport sur l'habitat repose sur l'idée simple que la taille spatiale d'une ville est fonction du temps nécessaire pour aller du centre aux aires périphériques. Un des premiers auteurs à notre connaissance à avoir essayé de vérifier cette relation est l'Allemand LEHNER (1). A partir du graphique II.1 que nous reproduisons, il montre que lorsque la locomotion se faisait à pied, le rayon de Berlin était environ de 1,25 mille et correspondait à une demi-heure de marche. Vers le début du siècle et avec l'introduction du tramway, le rayon de la ville est passé de 5 milles et le temps de trajet était toujours de trente minutes. Selon I. GABBOUR, de nombreuses autres observations semblables ont été faites dans d'autres villes, en particulier en Amérique du Nord. Ce graphique ne saurait constituer une démonstration de la relation qui peut exister entre le développement de la ville et le mode de transport principal d'une époque, cependant il faut bien reconnaître que beaucoup d'habitants des grandes régions urbaines vivent à des distances de leur travail qui n'auraient pas été possibles il y a un siècle. La raison essentielle en est évidemment l'accroissement de la vitesse des moyens de transport.

Cette constatation a conduit un groupe d'experts (2) en 1965 à donner des dimensions maximales des zones urbaines en fonction de la vitesse maximale du meilleur moyen de transport existant. Selon eux, au temps de la marche à pied et du cheval, la taille d'une agglomération ne pouvait guère dépasser 79 km2 ; il est remarquable que ceci corresponde à peu près à la superficie de la ville de Paris vers 1870, alors que la ville représentait la quasi totalité de l'agglomération. Avec l'apparition du tramway qui, estiment-ils, permet une vitesse commerciale de 20 km/heure, la superficie pouvait atteindre 1 250 km2 ; enfin avec l'automobile et des autoroutes suburbaines dont on estime qu'elles permettent une vitesse commerciale de 50 km/heure, l'agglomération pourrait s'étendre sur près de 8 000 km2. Nous remarquons qu'une multiplication par dix de la vitesse a multiplié par cent la surface potentielle de l'agglomération. Cependant il ne s'agit là que d'une surface potentielle, la vitesse n'ayant pas la même influence suivant le mode de transport. A cet égard l'exemple de Paris est assez significatif (3). L'agglomération parisienne s'est développée avec l'apparition du chemin de fer le long des axes que

---

(1) Cité par I. GABBOUR "Croissance urbaine et déplacements urbains" in Urbanização, vol 5, juin 1970, p. 127 à 134.

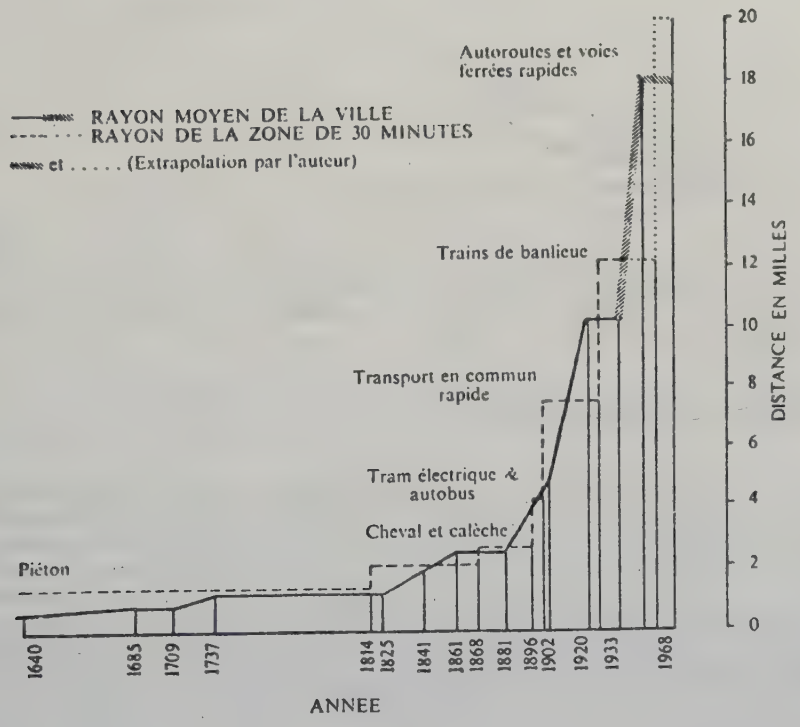
(2) Conférence Internationale de la Fédération Internationale pour l'Habitation, l'Urbanisme et l'Aménagement du territoire réunie à Örebro en Suède en 1965.

(3) Pour une étude détaillée de la croissance de l'agglomération, voir :
- Jean BASTIE "La Croissance de la banlieue parisienne" PUF Paris 1964.
- Pierre MERLIN "Les Transports parisiens", Masson, Paris, 1967.

celui-ci a constitué ; l'urbanisation dense s'est concentrée autour des gares qui constituent des pôles d'attraction. Ce type d'urbanisation connaîtra son apogée entre les deux guerres avec l'habitat pavillonnaire. Après la seconde guerre mondiale, la pénurie de terrains, la spéculation, ont permis le développement de grands ensembles collectifs, aujourd'hui en partie supplantés par le grand ensemble pavillonnaire que l'automobile permet de construire à la fois loin de Paris et des gares ; c'est ainsi que grâce à l'individualisation des transports se comblent les vides urbains laissés entre les axes ferroviaires.

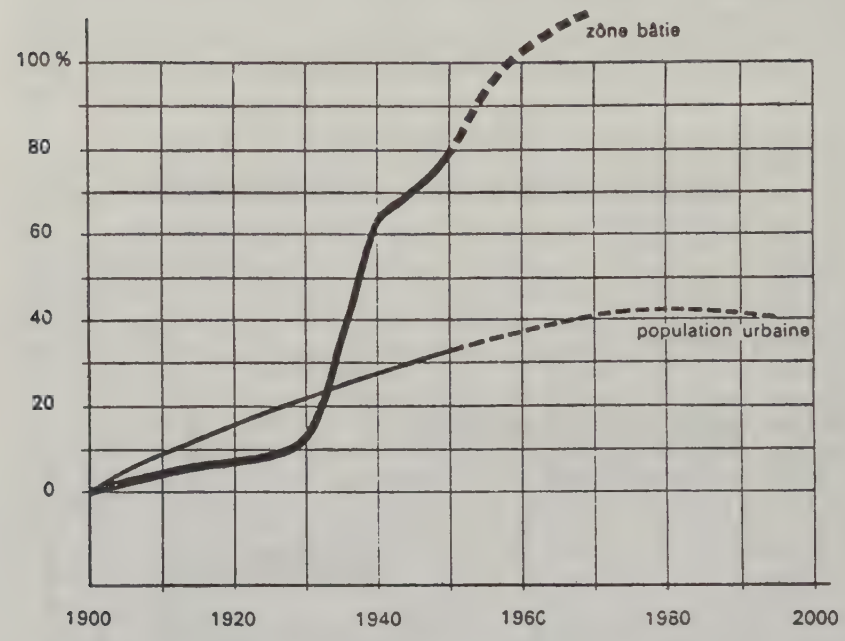
GRAPHIQUE II.1

Evolution du rayon moyen de la ville de Berlin



GRAPHIQUE II.2

Evolution du taux d'accroissement de la population et des surfaces urbanisées en Angleterre et Pays de Galles



Source : Jean LABASSE, op. cit.

Une des conséquences du développement de la vitesse du mode de transport personnel est de rendre la lutte moins âpre pour l'occupation des sols à la périphérie et de permettre à chacun d'occuper plus de surface. Une étude faite en Angleterre et au Pays de Galles montre que l'évolution du taux d'accroissement de la population urbaine a été de 1900 à 1930 légèrement plus forte que celle de la surface bâtie (1) (graphique II.2). Brusquement, à partir de 1930 la surface bâtie s'est développée beaucoup plus rapidement que la population et vers 1950 le taux de croissance de la surface bâtie était quatre fois plus élevé que celui de la population urbaine. Une telle accélération ne peut que révéler une modification profonde de l'occupation des sols dont la diffusion de l'automobile est en partie responsable. En France nous disposons seulement de quelques renseignements sur l'agglomération parisienne quoique peu fiables du point de vue de notre démonstration. En effet, dans sa thèse sur les transports parisiens, P. MERLIN donne l'évolution des populations et des surfaces de la ville de Paris ; toutefois il précise bien qu'il n'a

(1) *G.P. WIBERLEY "Agriculture and urban growth", Londres M. Joseph, 1959, cité par Jean LABASSE, "L'organisation de l'espace", Herman, Paris, 1966, p. 460.*

pas été fait de distinction entre la surface urbanisée et la surface rurale de chaque commune de l'agglomération, ce qui tend à surestimer la surface bâtie. Nous préférons les données fournies par Jean BASTIE dans son ouvrage sur la croissance de la banlieue parisienne ; selon lui l'agglomération parisienne, légèrement supérieure à la ville de Paris, représentait 87 km2 vers 1860. Vers 1960 cette même agglomération comprend un anneau urbain où l'espace bâti est continu et quelques digitations qui s'étirent le long des voies ferrées ; elle couvrait environ 1 500 km2. En 1968, selon les résultats du Centre de Recherche sur l'urbanisme, l'agglomération parisienne couvre environ 1 800 km2 (1). A ces époques successives l'agglomération parisienne a compté respectivement deux millions d'habitants, plus de sept et plus de huit millions d'habitants. Malgré une forte croissance démographique la surface bâtie s'est accrue beaucoup plus vite puisqu'en un peu plus d'un siècle, pendant que la population était multipliée par quatre la surface bâtie a été multipliée par vingt. Malheureusement, le manque de données dans le temps ne nous permet pas de dire si l'évolution a été régulière ou si elle a connu des accélérations. Une autre étude menée au Centre de Recherche sur l'Urbanisme montre que la densité aurait commencé à décroître vers 1911, c'est-à-dire à une époque où les moyens modernes de transport, tant collectifs qu'individuels, s'introduisent de façon massive (2). Cependant, l'automobile, bien qu'existante, n'est pas encore très répandue. Dans cette même étude et pour plusieurs villes de pays industrialisés, on montre que la densité diminue dans le temps et dans l'espace (3).

Ces résultats confirment donc la baisse de la densité des zones nouvellement urbanisées, due à l'évolution de la technique des transports, sans que l'on puisse attribuer à un mode particulier un rôle prépondérant. Toutefois la souplesse d'utilisation fait de l'automobile un facteur privilégié de l'abaissement de la densité des zones périphériques, d'autant plus que l'accroissement du parc automobile nécessite de lui réserver de plus en plus de surface. Un rapport des Nations-Unies (4) sur l'usage des

---

(1) Centre de Recherche d'Urbanisme : "Les villes françaises", étude des villes et agglomérations de plus de 5 000 habitants, Paris, 1973, tome IV, vol. A, p. 11.

(2) René BUSSIERE "Modèle urbain de localisation résidentielle" in "Modèles mathématiques de répartition des populations urbaines". Institut Central de Recherche Scientifique et d'Etudes sur l'Urbanisme, Moscou Centre de Recherche d'Urbanisme, Paris, 1972, p. 11 à 125, voir en particulier figure 21, p. 68.

(3) Cette démonstration repose sur les résultats obtenus à l'aide du modèle exponentiel de répartition de BLEICHER (attribué souvent à Colin CLARK) selon lequel la population totale comprise entre le centre et la zone circulaire délimitée par le rayon r est :

$$P(r) = 2\pi \int_0^r D(r)\, r\, dr$$

où D(r) est la densité moyenne à toute distance r du centre et égale à : $A e^{-br}$
Les ajustements obtenus offrent des résultats très satisfaisants puisque le coefficient de corrélation n'est jamais inférieur à 0,99.

(4) Rapport des Nations-Unies : "L'usage des terrains dans les villes : principes et réglementations", vol. III Europe occidentale, Nations-Unies, New-York, 1974.

terrains dans les villes fait justement remarquer qu'un ménage qui habite un appartement de trois pièces de 50 à 55 m2 dans un immeuble de sept étages occupe 8 à 9 m2 de sol urbain en comptant les espaces morts. Si le ménage possède une voiture dans la rue cette dernière occupe également 8 à 9 m2 de sol urbain et si l'on considère que ce ménage souhaite disposer de places de stationnement près des lieux de travail, de commerce et de spectacle, on conçoit à quel point la diffusion de la voiture exige de surfaces urbanisées. Une des manifestations les plus remarquables de ce besoin de surface est l'avènement d'une nouvelle forme de distribution qui n'a pu naître qu'avec la banalisation de la voiture. Cette nouvelle politique commerciale élimine naturellement la clientèle non motorisée. En favorisant pour ne pas dire en suscitant cette nouvelle forme de distribution, l'automobile met en place un système propre à favoriser à son tour la motorisation, contribuant à la baisse de densité de l'espace urbanisé (1).

12 - Densité urbaine et motorisation

La ville et l'automobile sont deux réalités de la vie collective contemporaine mais dont de nombreux siècles séparent les avènements ; la ville est un phénomène millénaire dans nos pays européens et l'automobile est entrée massivement dans la vie quotidienne des citadins il y a à peine un demi-siècle. C'est donc sur une structure particulièrement difficile à modifier que ce phénomène récent exerce une pression de plus en plus forte.

Pour mesurer les difficultés d'adaptation il faut commencer par analyser l'importance de l'héritage urbain qui est antérieur à la période de l'automobile. Lorsque l'automobile est apparue vers 1900, l'Amérique du Nord comptait déjà vingt villes de plus de 100 000 habitants ; en Europe cinquante villes dépassaient ce chiffre dont deux constituaient deux énormes agglomérations : Londres, qui était la ville la plus peuplée avec 6,5 M d'habitants et Paris dont la population atteignait 3 M (2). L'Europe, comme les Etats-Unis, possédait de grandes villes et même de très grandes villes mais nullement préparées aux besoins de la circulation automobile. A Paris les importants travaux d'HAUSMANN correspondent à la circulation de 50 000 calèches et omnibus et non pas à celle des 50 000 automobiles qui dès 1939 y circulaient (3). Cependant, tandis

---

(1) On constate que pendant la grande période d'essor de ce nouveau type de distribution de 1958 à 1973, le parc de voitures en France a triplé. Le premier hypermarché (Carrefour) apparaît en 1963 ; en 1967 on en compte 4, au 1er janvier 1973 : 257. Avec les supermarchés et les centres commerciaux, ils totalisent 6,8 millions de m2. Leur technique commerciale est commandée par leur situation excentrée évitant les encombrements du centre ville et offrant de vastes parcs de stationnement dont on a calculé qu'au début de 1974 ils représentaient 20 millions de m2, soit plus du triple de la surface de vente (source LSA n° 503, septembre 1974).

(2) Cf. Pierre GEORGE : "La ville et l'automobile" in "L'homme et la ville dans le monde actuel". Centre d'études de la civilisation contemporaine. Desclee de Brouwer, Paris, 1969.

(3) Pierre MERLIN, op. cit. p. 15.

que les villes d'Amérique du Nord ont pu être remodelées en fonction de l'évolution du parc automobile, cela n'a guère été possible en Europe en raison du patrimoine historique des vieilles cités. Dans quelques unes les destructions de guerre ont autorisé quelques remodelages repoussant, sans le régler, le problème de la pression sans cesse croissante du parc automobile. Aujourd'hui, même les villes américaines n'échappent pas aux inconvénients de l'encombrement.

Deux graphiques illustrent assez bien la tendance à la baisse de la densité lorsque la motorisation s'accroît en France comme aux Etats-Unis. Que cette relation semble plus nette aux Etats-Unis qu'en France, ceci résulte vraisemblablement de la coexistence aux Etats-Unis de deux types distincts d'agglomérations. On remarque en effet que les agglomérations à forte densité et faible motorisation présentent un centre ancien ; il s'agit, pour la plupart, des villes de la côte orientale ou du Sud-Est des Etats-Unis, alors que les villes à faible densité et forte motorisation sont celles du Texas et de la côte occidentale. On peut même dire que les secondes, plus récentes, ont prospéré en même temps que la motorisation. En France toutes les grandes agglomérations se sont étendues à partir d'un centre dont la structure était déjà très ancienne : cela explique qu'aucune des grandes villes françaises n'a une densité inférieure à trente habitants par hectare, à l'inverse de la plupart des villes nouvelles des Etats-Unis. L'existence de deux types d'urbanisation aux Etats-Unis permet de mettre plus clairement en lumière la liaison de la décroissance de la densité avec la croissance de la motorisation, d'autant plus que ces villes récentes ont été conçues en fonction de la voiture.

En France la relation, moins nette, souffre quelques exceptions notables : Rennes présente un taux de motorisation plus élevé que toutes les autres villes françaises ; cela surprend d'une ville dont le centre est parmi les plus denses, nous ne voyons qu'une seule explication à cette anomalie : la présence d'une importante usine Citroën qui doit être un facteur de surmotorisation. On constate également que Détroit est une des villes les plus motorisées des Etats-Unis compte tenu de sa densité. La sous-motorisation relative de Marseille constitue une autre anomalie. En fait la commune de Marseille recouvre la quasi totalité de l'agglomération (1). De toute façon, quelle que soit la ville, il existe toujours d'autres effets tels l'âge et le revenu, ou encore un effet propre à la ville, qui font que la relation obtenue ne peut être parfaitement fonctionnelle.

De ces graphiques, il ressort que la densité a une influence sur la motorisation mais l'exemple des Etats-Unis montre que simultanément la motorisation a une influence sur la densité. Il serait vain de rechercher ici une relation de causalité unique ; nous sommes en présence d'un phénomène d'interdépendance complexe. Cependant il est indéniable que les difficultés de circulation au centre des villes ont pour effet de modifier l'attitude vis-à-vis de la disposition de l'automobile. Actuellement le taux de motorisation le plus bas aux Etats-Unis se trouve au centre de New-York. En France le taux le plus faible s'observe dans Paris intra-muros, là même où le taux était le plus élevé entre les deux guerres (une automobile pour cinq personnes) (2). L'enquête "transports"

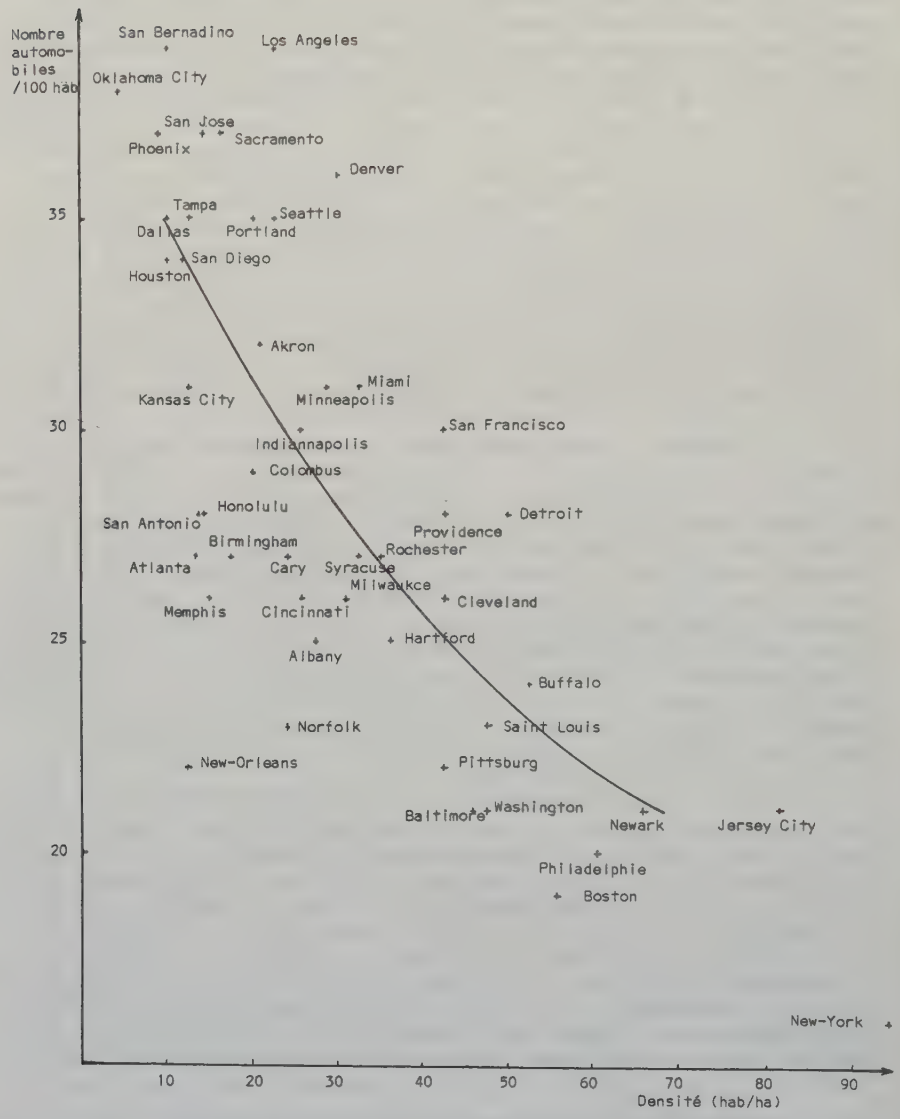
---

(1) La commune de Marseille a une superficie de 240 km2 : elle est deux fois plus étendue que la ville de Paris, elle-même deux fois plus grande que la majorité des communes centres.

(2) Pierre MERLIN, op. cit. p. 14.

GRAPHIQUE II.3

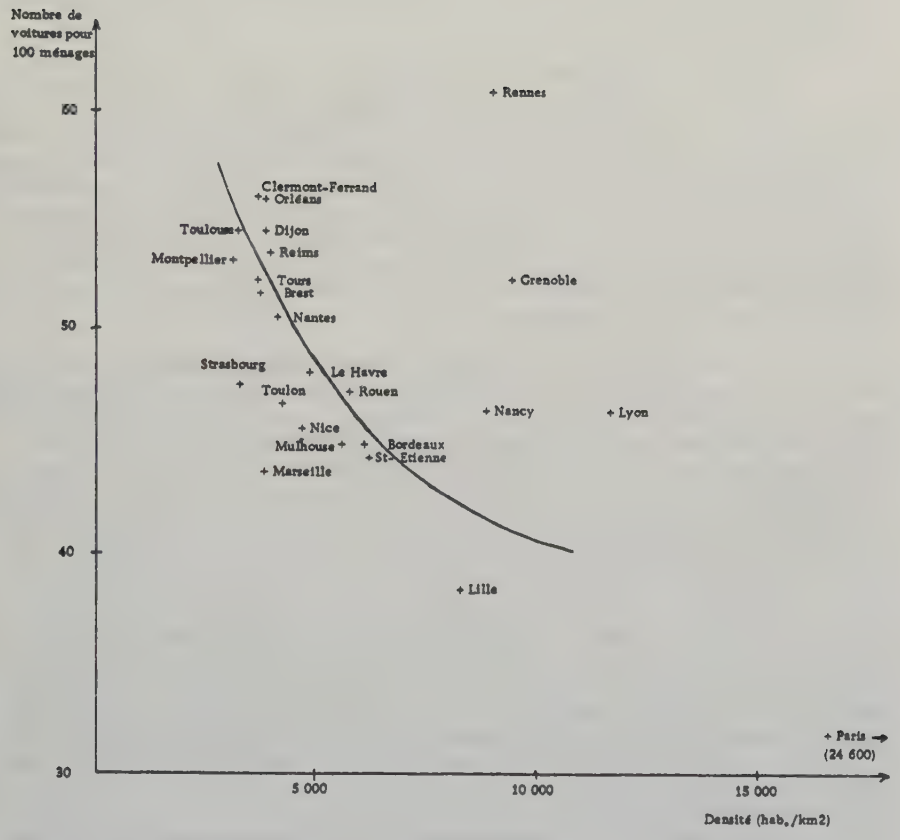
Relation taux de motorisation - densité des villes-centre dans les agglomérations de plus de 500 000 habitants aux Etats-Unis en 1960



Source : R. WALDMANN "Transports et population urbaine", in "Grandes villes et petites villes". Centre National de la Recherche Scientifique 1970, p. 311.

GRAPHIQUE II.4

Relation taux de motorisation - densité des villes-centre dans les agglomérations de plus de 200 000 habitants en France en 1968



réalisée par l'INSEE en 1967 révèle que le taux de démotorisation s'est accru dans le coeur de Paris et des grandes villes françaises (1). Quelle que soit la taille de l'unité urbaine la démotorisation est toujours plus forte dans la commune principale que dans les communes secondaires ; c'est la ville de Paris qui connaît le taux de démotorisation relative le plus élevé de France. Il est concevable que ces différences résultent d'une structure d'âge et de revenu particulière. André VILLENEUVE a effectué une correction pour chaque type de commune ; il a calculé des taux fictifs comme si jouaient seuls les effets de l'âge et du revenu. Loin d'atténuer les résultats, la correction souligne mieux l'influence de la commune. Ainsi on observe que l'effet propre de la commune principale d'agglomération est défavorable à la motorisation et surtout qu'il est très favorable à la démotorisation.

L'autre intérêt de ce calcul est de distinguer dans les origines de la sous-motorisation les ménages qui ne se sont jamais motorisés de ceux qui se sont démotorisés. Ainsi à Paris en 1967, parmi les 21,1 % des ménages censés être motorisés mais qui ne le sont pas, 13,9 ne l'ont jamais été et 7,2 se sont démotorisés, ce que ni leur âge ni leur revenu ne laissaient prévoir. Dans la capitale la sous-motorisation imputable à l'effet de la commune est de 35 % dont les 2/5 résultent d'une démotorisation. En province, dans les communes principales de plus de 200 000 habitants le taux de sous-motorisation est de l'ordre de 8,5 % dont un quart imputable à une démotorisation propre à l'effet de la situation de la commune au sein de l'agglomération.

Une étude de l'IAURP sur les transports de la région parisienne analyse le taux d'équipement des ménages selon plusieurs zones concentriques et directionnelles (2). De ces résultats nous avons tiré un graphique (II.5) qui montre l'évolution du taux d'équipement en automobiles selon quatre zones concentriques en fonction du revenu. On observe qu'à revenu égal, le taux de motorisation grandit au fur et à mesure que l'on s'éloigne du centre. Une autre étude, fondée sur les résultats du recensement de 1968, confirme cette tendance (3) : les taux d'équipement des quatre premiers arrondissements de Paris, les plus centraux, s'échelonnent entre 20 % et 27 % ; dans le 16ème, le mieux équipé, il atteint juste 40 %, alors que dans la commune de grande banlieue la moins équipée il est déjà de 43 % et que les taux les plus élevés atteignent 80 % (Bois d'Arcy). Ce sont des différences que la structure par âge et par revenu ne suffit pas à expliquer. Ce phénomène n'est pas propre à la capitale ; à Lyon et Marseille les quartiers les plus centraux ont également des taux faibles : 34 % (Terreaux), 41 % (Lyon-Perrache), 27 % (Canebière), 24 % (Joliette), tandis qu'il est voisin de 70 % dans les communes les plus excentriques.

Ces résultats laissent penser que le développement par la périphérie des agglomérations est un facteur favorable à la motorisation. Mais il faut s'assurer que cette surmotorisation l'est non seulement par rapport à un centre dont on a mis en évidence la sous-motorisation, mais aussi par rapport au taux de motorisation moyen des communes françaises.

---

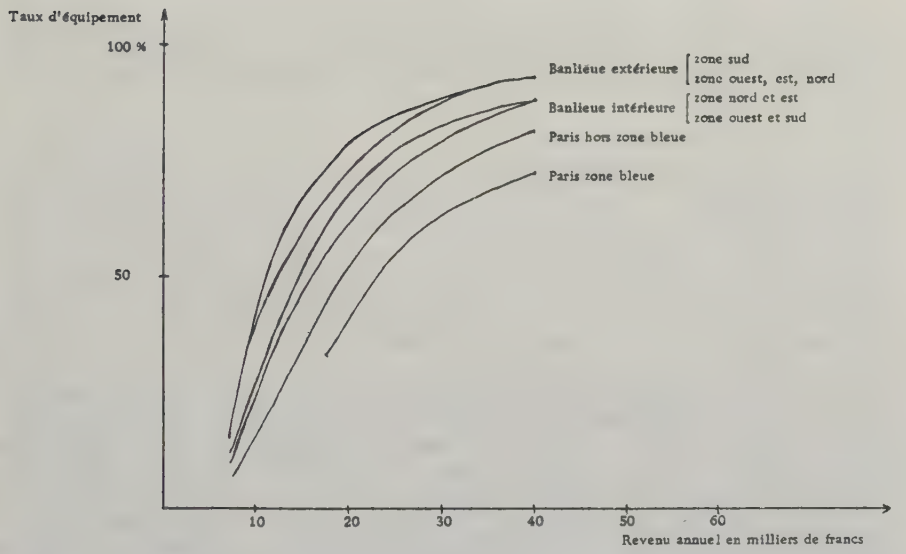
(1) André VILLENEUVE : "L'Equipement des ménages en automobiles - Enquête Transport 1967", n° 62 des collections de l'INSEE, série M, n° 15, juin 1972.

(2) IAURP "Enquête globale de transport de la région parisienne", Cahier de l'IAURP, vol. 28 n° 2, septembre 1972.

(3) Jean-Louis BODIN : "Les ménages et la voiture particulière", Economie et Statistiques, octobre 1970.

GRAPHIQUE II.5

Taux d'équipement automobile des ménages de la région parisienne en fonction du revenu et de la zone d'habitation



De l'étude d'André VILLENEUVE il ressort que l'effet propre des communes est favorable à la motorisation des ménages pour toutes celles des unités urbaines qui ont moins de 100 000 habitants, tandis qu'il lui est défavorable pour les autres, sauf pour les villes isolées entre 100 000 et 200 000 habitants. Ainsi, au niveau de la France entière les communes périphériques des grandes agglomérations n'exercent pas d'effet propre favorable à la motorisation. La distinction importante n'est pas tant celle qui oppose le centre d'une agglomération à sa périphérie, que celle qui oppose les grandes agglomérations aux zones rurales. L'apparente surmotorisation observée à la périphérie des agglomérations n'est donc que relative et on peut conclure comme André VILLENEUVE "qu'il paraît douteux que le besoin relativement plus grand de transport individuel à la périphérie des grandes villes puisse jamais compenser la tendance des habitants plus centraux à ne pas ou à ne plus se motoriser" (1).

L'urbanisation contemporaine qui se traduit par une croissance à la fois diffuse et tentaculaire des agglomérations n'apparaît pas à l'analyse spécialement favorable au choix de la voiture. En contraignant

---

(1) André VILLENEUVE, op. cit. p. 27.

des habitants du centre des villes au refus de motorisation, elle les rapproche du train. D'autre part la tendance à la surmotorisation des zones périphériques n'est guère sensible que relativement aux centres-villes et ne conduit pas à réduire dans de grandes proportions les "captifs ferroviaires". Tout au plus émettrons-nous l'idée que l'éloignement croissant des gares principales des banlieues nouvellement urbanisées écarte leurs habitants de la solution ferroviaire.

2 - INFLUENCE DES STRUCTURES PAR REVENU, PAR AGE ET PAR CATEGORIE SOCIO-PROFESSIONNELLE SUR LA MOTORISATION ET LA CLIENTELE FERROVIAIRE

De 1950 à 1975 pendant que le taux de motorisation quadruplait, provoquant plus que le quadruplement du trafic routier de voyageurs, le trafic ferroviaire quant à lui s'est élevé lentement sans parvenir à doubler tout à fait son volume (graphique II.7). Mais l'évolution n'est pas uniforme selon que l'on observe le trafic des rapides et express ou celui des omnibus. Pour ce dernier on note une remarquable stabilité jusqu'en 1965 suivie d'une lente diminution qui s'aggrave à partir de 1971. Le développement de la motorisation a entraîné sur les courtes distances de lourds déficits d'exploitation du service des omnibus (évalué à 30 % du déficit proprement dit de la SNCF en 1969 (1)) contraignant l'Entreprise Nationale à fermer les lignes les moins rentables (2). Le trafic omnibus nous intéresse moins directement que celui des rapides et express puisque l'étude porte sur les voyages interurbains. De 1952 à 1976 leur volume de trafic a doublé mais cette évolution s'est accomplie de façon irrégulière puisqu'aux périodes d'expansion (1950-1952) succèdent des périodes de stagnation (1957 - 1961 et 1964 - 1967) et même de récession (1953 et 1968 marquées par d'importants mouvements de grève). L'année 1969 voit une reprise rapide qui ne s'est pas démentie jusqu'en 1976 : en sept ans la croissance a été de 40 %. Dans l'irrégularité du trafic transparaissent les difficultés d'adaptation d'un mode de transport habitué à une situation de monopole de fait, soumis à des servitudes de service public et confronté aux problèmes nouveaux de la concurrence routière ainsi qu'aérienne. L'année 1969 marque une étape : le rythme de la motorisation des ménages se ralentit tandis que le trafic des rapides et express aborde une nouvelle phase de croissance.

21 - Le phénomène de la motorisation (3)

C'est après la première guerre mondiale que le parc automobile français s'est développé avec le début de la production de série. Cependant à la veille de la seconde guerre mondiale le nombre de véhicules

---

(1) Jean-Noël CHAPULUT, Jean FREBAULT, Jacques PELLEGRIN, op. cit. p. 41.

(2) De 1965 à 1973 4410 km de voies ferrées ont été fermées au trafic de voyageurs.

(3) Pour une étude plus approfondie, le lecteur pourra se reporter aux documents suivants :
André VILLENEUVE, op. cit. Bien que déjà ancienne, cette étude donne des indications extrêmement utiles, d'autant plus que notre étude repose sur des données à peine plus récentes.
M. MOUTARDIER et M. GLAUDE "Projections de la demande d'automobile pour 1980 et 1985", n° 266 des collections de l'INSEE, série M, n° 64 juillet 1978.

n'atteignait pas encore deux millions. Ce chiffre n'allait être dépassé qu'en 1953 et depuis le parc automobile s'est accru très rapidement : il dépassait en 1977 seize millions de véhicules. En faisant le rapport du nombre d'automobiles par habitant, la France occupe le huitième rang dans le monde. En Europe, le Luxembourg, la Suède et l'Allemagne Fédérale ont un taux supérieur à celui de la France.

Si le parc automobile s'est accru rapidement, la croissance ne s'est pas faite de façon régulière et comme pour de nombreux biens durables elle a une allure logistique. Ainsi a-t-il fallu sept ans pour passer d'un taux d'équipement des ménages de 20 à 30 %, trois ans et demi pour passer de 30 à 40 %, trois ans pour passer de 40 à 50 %. Mais depuis 1967, le rythme a notablement diminué puisque le seuil de 60 % n'a été atteint qu'en 1972. En 1977 ce taux atteignait à peine 65 %. Depuis 1960 un phénomène nouveau est apparu et progresse à un rythme plus rapide que la motorisation : il s'agit de la multimotorisation. On désigne par cette expression le fait qu'un ménage soit équipé de deux ou plusieurs automobiles. De l'ordre de 1 % en 1960, il est passé à 3 % en 1965, 7 % en 1970 et avoisinait 11 % en 1975 ; la multimotorisation prend donc une part de plus en plus importante dans le parc automobile français. Ce phénomène a une influence sur le choix du mode de transport car la disposition d'une seule voiture par ménage réduisait les possibilités de choix pour les personnes autres que le chef de ménage.

Comme pour tous les biens durables, le revenu est un facteur décisif de l'acquisition de l'automobile par les ménages. En 1960 le revenu moyen des ménages équipés d'une automobile était supérieur de 50 % au revenu moyen de l'ensemble de la population ; en 1969 cet écart n'était plus que de 30 %. Le revenu est bien un facteur explicatif mais son rôle ne cesse de diminuer. Ainsi depuis 1950 le seuil de revenu réel pour lequel les ménages sont équipés décroît régulièrement, ce qui signifie qu'à revenu réel constant le taux de motorisation croîtrait : c'est ce qu'on appelle l'effet de diffusion. Dès 1966 ce seuil avait tendance à se stabiliser et ce ralentissement de la diffusion s'observe plus nettement à partir de 1968, en partie dû à l'approche de la saturation que connaît tout bien durable mais aussi à une évolution moins favorable du prix relatif des automobiles depuis 1968. Par contre l'influence du revenu sur la multimotorisation est prépondérante et il est indéniable que ce phénomène est au seuil de sa phase de développement. En plus de l'effet revenu une autre variable pertinente de la multimotorisation est le nombre d'actifs du ménage.

L'âge est avec le revenu le facteur explicatif principal de la motorisation : celle-ci en effet croît très rapidement jusque vers trente ans, diminue ensuite très lentement jusqu'à cinquante ans puis de façon accélérée. L'allure générale de la courbe du taux de motorisation en fonction de l'âge ne s'est guère modifiée entre 1967 et 1975 ; on note seulement une élévation du taux de motorisation de 70 à 80 % pour les ménages les plus équipés (âge du chef de ménage trente ans). Ceci montre bien que "les ménages dont le chef est jeune ont tendance à s'équiper en véhicules plus que ne le laisserait prévoir leur revenu et inversement pour les ménages dont le chef est âgé". A travers l'analyse de l'influence de l'âge transparaît aussi le phénomène de la diffusion puisque en 1963, 30 % des ménages dont le chef avait environ vingt cinq ans étaient équipés alors que 65 % de ces ménages l'étaient en 1975.

Mais si l'on veut mieux isoler l'effet de l'âge de l'effet de génération il faut considérer l'évolution du taux de démotorisation ; on observe qu'il est pratiquement stable jusqu'à quarante cinq ans, il augmente légèrement jusqu'à cinquante cinq ans puis de façon accélérée.

L'âge intervient de façon extrêmement sensible sur la démotorisation car plus on est âgé, plus on ressent la fatigue physique de la conduite, cependant avec l'âge interviennent des considérations financières : la réduction de la taille du ménage et la réduction du revenu pendant la retraite accroissent le coût relatif de la voiture et peuvent inciter les personnes âgées à s'en séparer. Mais la démotorisation est un phénomène qui intervient même avant l'âge de la retraite : dès l'âge de trente cinq ans pour les revenus les plus faibles.

L'effet de génération correspond à la période d'accoutumance de tout bien nouveau. En raison des difficultés d'adaptation physique et intellectuelle à sa conduite l'automobile connaît une période de pénétration beaucoup plus longue que la plupart des autres biens de consommation durable (1). S'il n'y avait pas d'effet de génération, le taux de motorisation actuelle ou passée devrait croître avec l'âge, or en 1967, au-delà de trente cinq ans ce taux diminue régulièrement, révélant de façon manifeste l'effet de génération. Actuellement celui-ci se traduit par un taux de motorisation plus élevé chez les jeunes générations qu'accompagne un abaissement de l'âge moyen de la motorisation. Cependant, si l'on observe l'évolution du taux de motorisation depuis 1962 jusqu'en 1972, on constate que les tranches d'âge jeunes ont un taux de motorisation croissant mais très nettement ralenti, ralentissement qui indique l'approche d'une saturation. De 1967 à 1972, leur taux de croissance était le même que celui de l'ensemble. Le graphique II.6 montre que l'effet de génération est très marqué entre la génération qui avait plus de soixante dix ans en 1970 et celles qui suivent puisque le taux de motorisation s'accroît nettement pour ces dernières. Cette distinction est confirmée par le fait que le taux de motorisation actuelle ou passée des plus de soixante cinq ans en 1967 était inférieur de moitié à celui des moins de soixante cinq ans. Les générations qui ont vu naître l'automobile se sont moins motorisées que celles qui sont nées avec elle. Il est vraisemblable que dans les prochaines années le taux de motorisation en fonction de l'âge croîtra à un rythme ralenti. L'ensemble des classes d'âge médian aura un taux assez voisin, seules les deux classes d'âge jeune auront un taux de croissance, ce qui correspondra à la phase de motorisation des ménages, alors que la classe des "plus de soixante dix ans" aura un taux plus faible en raison de la démotorisation. L'effet de génération aura ainsi tendance à disparaître, la motorisation deviendra une sorte de "régime permanent" (2) où la démotorisation des classes d'âge élevé compensera la motorisation des jeunes ménages ; seul le développement de la multimotorisation permettra de maintenir une certaine croissance du parc automobile français.

La catégorie socio-professionnelle ne manifeste guère d'effet propre très marqué, on constate que les professions à haut revenu ont un taux de motorisation élevé et un taux de démotorisation faible. A l'opposé les catégories socio-professionnelles à faible revenu sont moins motorisées et ont un taux de démotorisation assez élevé. Si l'on ajoute l'effet de l'âge et l'effet de génération on comprendra que les inactifs aient le taux de motorisation le plus faible et le taux relatif de démotorisation le plus élevé.

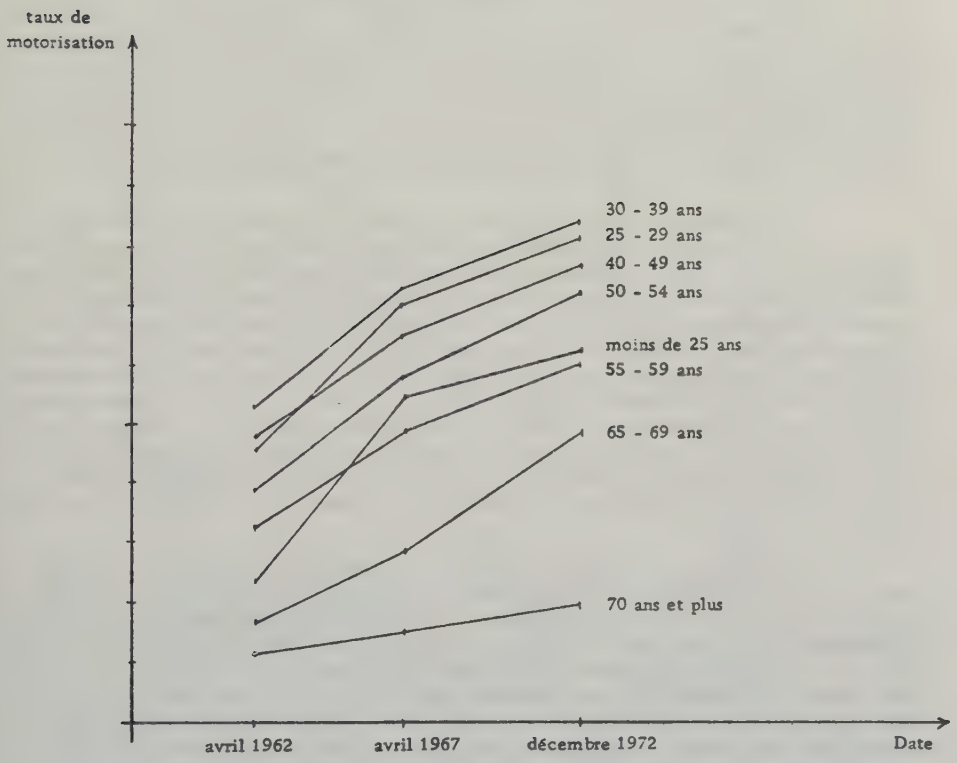
---

(1) Voir à ce sujet les enquêtes d'équipement des ménages réalisées par l'INSEE chaque année : L'automobile est le bien durable dont le taux d'équipement croît le moins vite.

(2) André VILLENEUVE, op. cit. p. 19.

GRAPHIQUE II.6

Taux de motorisation actuelle des différentes classes d'âge en fonction du temps



22 - Caractéristiques de la clientèle ferroviaire

Réalisée à partir des mêmes données d'enquête que celles que nous utilisons, l'étude de la SETEC donne une description très détaillée du voyageur ferroviaire (1). Des résultats on retient que les trois caractéristiques socio-économiques dont le rôle sur la motorisation a été mis en évidence ont une influence similaire sur l'incitation aux voyages ferroviaires.

Quel que soit le motif, l'élévation du revenu favorise le déplacement ferroviaire principalement en première classe. En effet le taux d'émission par ménage de trajets en seconde classe tend à se stabiliser à partir d'un revenu annuel de dix mille francs pour les voyages personnels et de quinze mille francs pour les voyages professionnels, tandis

(1) *SETEC ECONOMIE : "Etudes des voyages en 1968" Tome 2, étude réalisée pour le compte de la SNCF. Paris, 1971.*

qu'il ne cesse de croître pour les voyages en première classe (cf. tableau II.5). L'âge se révèle un facteur moins influent sur le taux des voyages ferroviaires en général que sur la motorisation ; on note seulement pour les voyages personnels un taux d'émission très élevé pour la classe d'âge "vingt à moins de vingt cinq ans". N'étant souvent fixés ni géographiquement, ni socialement, les moins de vingt cinq ans ont une grande mobilité ferroviaire qu'éclaire partiellement au moins la faiblesse de leur taux de motorisation (cf. tableau II.6). Dans l'ensemble, plus une catégorie socio-professionnelle est motorisée, plus son taux d'émission de voyages ferroviaires est élevé (cadres supérieurs et professions libérales), quel que soit le motif ; on note toutefois une distorsion importante avec les industriels et petits patrons qui, bien que très motorisés ont un taux d'émission de voyages ferroviaires plus faible que celui des employés moins motorisés (cf. tableau II.7).

L'enquête de la SETEC fait ressortir que plus de la moitié (52 %) des trajets ferroviaires sont effectués par des voyageurs ne disposant pas de voiture. Cette proportion varie considérablement selon le motif du voyage et la classe choisie. Egale à 62 % pour les voyages personnels elle tombe à 32 % pour les voyages professionnels, égale à 57 % en seconde classe, elle n'est plus que de 27 % en première. En recoupant ces deux classifications on trouve que 89 % des trajets effectués en première classe pour le motif professionnel, le sont par des voyageurs motorisés ; cette proportion est de 68 % seulement en seconde classe. Il y a donc pour ce motif peu de voyageurs captifs du train. La situation est bien différente pour le motif personnel puisque 65 % en seconde classe et 44 % en première classe des voyageurs ferroviaires ont déclaré ne pas disposer de voiture.

Le revenu, principal facteur discriminant de la motorisation, éclaire les disparités observées dans les différents courants de trafic ferroviaire : en effet les voyageurs ferroviaires motorisés ont un revenu supérieur de l'ordre de 70 % pour les voyages professionnels et de 50 % pour les voyages personnels. On retrouve, accentuée, la différence observée entre les ensembles des ménages motorisés et des ménages non motorisés en France à la même époque. D'autre part, les voyageurs ferroviaires motorisés manifestent une grande mobilité automobile puisque près de la moitié d'entre eux parcourt plus de 17 500 kilomètres par an, soit 50 % de plus que la moyenne des ménages motorisés français.

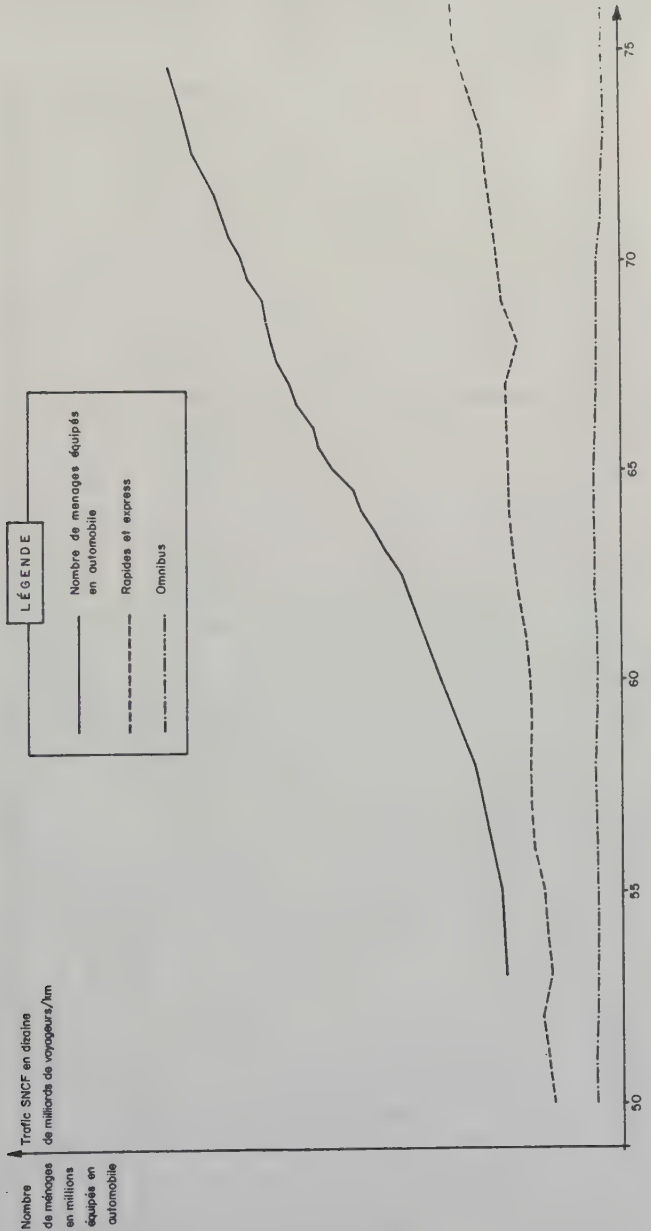
Une étude de l'UIC (1) a cherché à établir l'impact de la motorisation sur le trafic ferroviaire dans plusieurs pays d'Europe. Le signe négatif du coefficient qui affecte le taux de motorisation dans la fonction de demande signifierait une influence défavorable de la motorisation sur le trafic ferroviaire. Mais ce coefficient s'avère significatif uniquement pour les abonnements et non pour les billets simples et aller et retour, ni même pour le trafic global. L'absence d'une décomposition plus fine du trafic, en particulier en fonction de la distance, ne permet pas de déceler l'influence de la motorisation sur le trafic interurbain ; on peut d'ailleurs supposer que, si seuls les abonnements se révèlent sensibles à cette variable, c'est principalement parce qu'ils comportent de nombreux trajets courts correspondant à des relations domicile-travail.

---

(1) Union Internationale des Chemins de Fer : "Rapport sur la demande du trafic voyageurs par les chemins de fer en Europe". Comité d'Etudes Economiques, Groupe de travail 6/B/4.

GRAPHIQUE II.7

Evolution comparée du nombre de ménages
équipés d'une ou plusieurs automobiles
et du trafic ferroviaire (trafic banlieue exclu)



Le développement de la motorisation ne semble pas affecter dans sa globalité le trafic ferroviaire ; ce résultat ne contredit pas les conclusions de la SETEC qui montrent que ceux qui voyagent par le fer sont en même temps d'importants usagers de la route. Des enquêtes plus récentes corroborent ces conclusions puisqu'il en ressort que 20 % des ménages n'ont jamais pris le train, que près de 50 % des ménages ne l'ont pas pris depuis cinq ans et que la majorité de ceux qui l'ont pris depuis cinq ans ne le prennent qu'épisodiquement (une ou deux fois par an). La motorisation affecte la structure du trafic ferroviaire en diminuant le nombre des captifs et en augmentant la part des voyages professionnels et des voyages en première classe.

TABLEAU II.5

Taux d'émission de voyages ferroviaires en fonction du revenu annuel net de la famille

Revenu annuel net de la famille	Nombre de ménages ordinaires 1968 (millions) (1)	Nombre de trajets (millions)								Taux d'émission : trajets par ménage					
		Professionnels				Personnels				Professionnels			Personnels		
		Classe		Total	1ère	Classe		Total	1ère	Classe		Total	Classe		Total
		1ère	2ème		2ème	1ère	2ème		2ème	1ère	2ème		1ère	2ème	
1. moins de 10 000 F	5,91	0,1	2,5	2,6	0,05	0,4	10,8	11,2	0,04	*(0,02)*	*0,4*	*0,4*	*0,1*	*1,8*	*1,9*
2. de 10 000 à 15 000 F	3,23	0,2	4,4	4,6	0,06	0,8	12,5	13,3	0,07	*0,1*	*1,3*	*1,4*	*0,3*	*3,8*	*4,1*
3. de 15 000 à 20 000 F	2,45	0,7	4,6	5,3	0,16	1,2	8,9	10,1	0,13	*0,3*	*1,9*	*2,2*	*0,5*	*3,6*	*4,1*
4. de 20 000 à 25 000 F	1,34	0,8	2,4	3,2	0,34	0,8	3,8	4,6	0,20	*0,6*	*1,8*	*2,4*	*0,6*	*2,9*	*3,5*
5. de 25 000 à 30 000 F	0,87	0,8	1,6	2,4	0,40	0,7	2,5	3,2	0,27	*0,9*	*1,9*	*2,8*	*0,7*	*2,8*	*3,5*
6. de 30 000 à 40 000 F	1,02	1,6	1,8	3,4	0,86	1,0	3,2	4,2	0,33	*1,5*	*1,8*	*3,3*	*1,0*	*3,1*	*4,1*
7. de 40 000 à 50 000 F	0,39	1,1	0,8	1,9	1,47	0,7	1,6	2,3	0,40	*2,8*	*1,9*	*4,7*	*1,7*	*4,2*	*5,9*
8. plus de 50 000 F	0,55	1,8	0,6	2,4	2,61	1,0	2,2	3,2	0,47	*3,2*	*1,2*	*4,4*	*1,8*	*4,0*	*5,8*
TOTAL	15,76	7,1	18,7	25,8	0,38	6,6	45,5	52,1	0,14	*0,4*	*1,2*	*1,6*	*0,4*	*2,9*	*3,3*

(1) Application des résultats de l'année 1966 aux ménages ordinaires d'après le recensement de 1968, compte-tenu d'un coefficient de 1,25 d'augmentation du revenu nominal par ménage de 1965 à 1968.

Source : SETEC Economie : "Etude des voyages en 1968", op. cit. volume 2, p. 3.59.

TABLEAU II.6

Taux d'émission de voyages ferroviaires en fonction de l'âge et du sexe du voyageur

Age et sexe		Population France 1968 (1) 10^6	Nombre de trajets 10^6	Nombre de trajets Par hab.	Nombre de trajets personnels 10^6	Nombre de trajets personnels Par hab.	Population active 1968 (1) 10^6	Nombre de trajets professionnels 10^6	Nombre de trajets professionnels Par hab.
15 à 18 ans	Hommes	2,150	4,7	*2,19*	3,8	*1,77*	0,910	0,9	*0,92*
	Femmes	2,070	2,7	*1,30*	2,3	*1,11*	0,650	0,4	*0,62*
	Total	4,220	7,4	*1,75*	6,1	*1,45*	1,560	1,3	*0,83*
20 à 24 ans	Hommes	1,930	13,0	*6,74*	10,1	*5,23*	1,380	2,9	*2,11*
	Femmes	1,850	6,1	*3,30*	4,9	*2,62*	1,150	1,2	*1,10*
	Total	3,780	19,1	*5,05*	15,0	*3,97*	2,530	4,1	*1,62*
25 à 34 ans	Hommes	3,070	10,9	*3,55*	5,4	*1,76*	2,940	5,5	*1,87*
	Femmes	2,900	4,4	*1,52*	3,6	*1,24*	1,340	0,8	*0,60*
	Total	5,970	15,3	*2,56*	9,0	*1,51*	4,280	6,3	*1,47*
35 à 44 ans	Hommes	3,360	11,1	*3,28*	4,5	*1,34*	3,280	6,6	*3,01*
	Femmes	3,300	3,8	*1,15*	3,3	*1,00*	1,400	0,5	*0,36*
	Total	6,680	14,9	*2,23*	7,6	*1,17*	4,680	7,1	*1,52*
45 à 54 ans	Hommes	2,480	7,0	*2,82*	3,0	*1,21*	2,330	4,0	*1,72*
	Femmes	2,570	3,0	*1,17*	2,7	*1,05*	1,170	0,3	*0,28*
	Total	5,050	10,0	*1,98*	5,7	*1,13*	3,500	4,3	*1,23*
55 à 64 ans	Hommes	2,610	4,1	*1,57*	2,3	*0,83*	1,940	1,8	*0,93*
	Femmes	2,890	2,6	*0,90*	2,4	*0,83*	1,080	0,2	*0,17*
	Total	5,500	6,7	*1,22*	4,7	*0,85*	3,020	2,0	*0,66*
65 ans et +	Hommes	2,560	2,4	*0,94*	1,8	*0,70*	0,500	0,6	*1,20*
	Femmes	4,100	2,1	*0,51*	2,0	*0,49*	0,330	0,1	*0,18*
	Total	6,660	4,5	*0,68*	3,8	*0,57*	0,830	0,7	*0,84*
Ensemble	Hommes	18 180	53,2	*2,93*	30,9	*1,70*	13,280	22,3	*1,68*
	Femmes	19 680	24,7	*1,26*	21,2	*1,08*	7,130	3,5	*0,49*
	Total	37,860	77,9	*2,06*	52,1	*1,38*	20,400	25,8	*1,26*
DONT :									
15 à 24 ans	Hommes	4,080	17,7	*4,33*	13,9	*3,41*	2,290	3,8	*1,64*
	Femmes	3,920	8,8	*2,24*	7,2	*1,85*	1,800	1,6	*0,92*
	Total	8,000	26,5	*3,31*	21,1	*2,64*	4,090	5,4	*1,32*
25 à 44 ans	Hommes	6,450	22,0	*3,41*	9,9	*1,53*	6,220	12,1	*1,95*
	Femmes	6,200	8,2	*1,32*	6,9	*1,11*	2,740	1,3	*0,47*
	Total	12,650	30,2	*2,39*	16,8	*1,33*	8,960	13,4	*1,50*
45 ans et +	Hommes	7,650	13,5	*1,76*	7,1	*0,93*	4,770	6,4	*1,34*
	Femmes	9,560	7,7	*0,81*	7,1	*0,74*	2,580	0,6	*0,22*
	Total	17,210	21,2	*1,23*	14,2	*0,83*	7,350	7,0	*0,95*

(1) Source : recensement 1968 sondage 1/4.

Source : SETEC Economie : "Etude des voyages en 1968" op. cit. vol. 2, p. 3.45

TABLEAU II.7

Taux d'émission de voyages ferroviaires domiciliés en France par habitant, en fonction de la catégorie socio-professionnelle en 1968 et 1961

Catégorie socio-professionnelle	Population France entière 1968 (millions) (1)	Enquête 1968						Population France entière 1962 (millions) (2)	Enquête 1961					
		Nombre de trajets		Nombre de trajets profes.		Nombre de trajets personnels			Nombre de trajets		Nombre de trajets profes.		Nombre de trajets personnels	
		10^6	Par hab.	10^6	Par hab.	10^6	Par hab.		10^6	Par hab.	10^6	Par hab.	10^6	Par hab.
1. Patrons de l'Industrie et du commerce :														
- chefs d'entreprise	80	0,3	3,5	0,2	2,4	0,1	1,1	80						
- commerçants et artisans	1 870	3,0	1,6	0,9	0,5	2,1	1,1	1 920						
Sous-total	1 950	3,3	1,7	1,1	0,6	2,2	1,1	2 000	4,4	2,2	2,6	1,3	1,8	0,9
2. Professions libérales ou cadres supérieurs														
- professions libérales	140	1,3	9,5	0,8	5,7	0,5	3,8	120						
- cadres supérieurs	850	9,8	11,5	6,4	7,5	3,4	4,0	640						
Sous-total	990	11,1	11,2	7,2	7,2	3,9	4,0	760	9,5	12,5	6,9	9,1	2,6	3,4
3. Cadres moyens	2 010	10,7	5,3	6,0	3,0	4,7	2,3	1 490	9,0	6,0	5,1	3,4	3,9	2,6
4. Employés	3 000	13,0	4,3	4,2	1,4	8,8	2,9	2 420	12,7	5,2	4,9	2,0	7,8	3,2
5. Ouvriers	7 710	8,1	1,0	3,1	0,4	5,0	0,6	7 020	8,2	1,2	3,3	0,5	4,9	0,7
6. Agriculteurs ou salariés agricoles	3 050	0,6	0,2	0,1	(0,05)	0,5	0,2	3 840	0,8	0,2	0,3	0,1	0,5	0,1
7. Personnel de service	1 170	1,2	1,1	0,3	0,3	0,9	0,8	1 040	1,4	1,3	0,5	0,4	0,9	0,9
8. Autres actifs	520	3,5	6,6	1,7	3,2	1,8	3,4	590	4,4	7,4	1,4	2,4	3,0	5,0
Population active totale	20 400	51,5	2,5	23,7	1,2	27,8	1,3	19 160	50,4	2,6	25,0	1,3	25,4	1,3
9. Etudiants ou élèves	3 030	11,5	3,8	1,7	0,6	9,8	3,2							
10. Militaires du contingent	240	3,6	14,7	0,1	0,3	3,5	14,4							
11. Retraités	4 950	5,1	1,0	0,3	(0,05)	4,8	1,0							
12. Sans profession	9 240	6,2	0,7	-	-	6,2	0,7							
Population non active totale	17 460	26,4	1,5	2,1	0,1	24,3	1,4	15 100	25,7	1,7	3,3	0,2	22,4	1,5
TOTAL	37 860	77,9	2,1	25,8	0,7	52,1	1,4	34 260	76,1	2,2	28,3	0,8	47,8	1,4

(1) Agée de 15 ans et plus - Source : Recensement 1968 - Sondage 1/4
(2) Agée de 15 ans et plus - Source : Recensement 1962 - Sondage 1/20

Source : SETEC Economie - "Etude des voyages en 1968" op. cit. vol. 2, p. 3.53

CONCLUSION

Cette analyse économique souligne l'extrême complexité du choix du mode de transport due à la grande diversité des éléments qui interviennent à différents niveaux. La valeur du temps, élément fondamental, n'apparaît finalement pas aussi déterminante que ne le laissent supposer les modèles initiaux de comportement du consommateur. Déjà dans la première approche on perçoit qu'un élément comme le confort, qu'il soit d'ordre purement matériel ou appréhendé sous ses aspects plus psychologiques est susceptible d'interférer sur l'influence de la valeur du temps. Mais lorsqu'on aborde l'étude des motivations proprement psychologiques on se rend compte que le choix entre le train et l'automobile obéit à de nombreux mobiles plus secrets dont l'analyse met en relief l'importance de la subjectivité dans le choix.

L'automobile, mode individuel, non seulement est un moyen de transport mais aussi un moyen d'exhibition derrière lequel on laisse deviner un niveau de richesse, un style de vie et même un niveau de responsabilité. Certes comme tout bien nouveau l'automobile entre dans une phase de banalisation, en partie d'ailleurs en raison de l'apparition de la seconde voiture du ménage qui, généralement, plus petite, jette un trouble sur la signification sociale de l'automobile. Simultanément la réglementation accrue réduit la possibilité de s'exprimer, notamment par la vitesse, laquelle dans notre société encombrée est devenue un support de prestige aussi important que le véhicule. Le dernier modèle proposé illustre comment la valeur apparente du gain de temps résulte de trois composantes, utilitaire, hédoniste et ostentatoire. L'analyse spécifique consacrée au risque fait ressortir qu'il est à la fois un facteur de répulsion et d'attraction ce qui témoigne une nouvelle fois de la difficulté de déterminer les parts respectives de l'objectivité et de la subjectivité dans le choix.

A travers l'analyse des facteurs sous-économiques entre autres de l'urbanisation nous avons montré que le choix n'est pas indépendant du développement économique et social. Un phénomène d'interdépendance complexe lie l'évolution de l'urbanisation et celle des modes de transport et il n'est pas douteux qu'à l'avenir les décisions de plus en plus collectives qui seront prises en ce domaine pèseront sur les choix individuels. Cette tendance se trouvera accentuée du fait que l'acquisition de la première automobile par le ménage est un phénomène en voie de stabilisation et que l'acquisition d'un ou plusieurs véhicules supplémentaires sera probablement plus une question de localisation que de revenus.

DEUXIÈME PARTIE

MODÈLES ÉCONOMÉTRIQUES
ET CHOIX DU MODE DE TRANSPORT

Le choix du mode est l'un seulement des aspects de la demande de transport. La décision de voyager peut apparaître comme une suite de réponses à un certain nombre de questions dont il serait vain de chercher un ordre logique immuable. En certaines circonstances le choix de la destination, du mode, de l'horaire obéit à une séquence définie. Par contre d'autres voyages ne sont envisagés que pour telle destination par tel mode. En fait le voyage forme un ensemble complexe.

L'analyse économétrique de la demande de transport présente cependant le déplacement comme le résultat d'une suite logique où sont abordés successivement les problèmes de génération de trafic, de distribution spatiale, de répartition modale, d'affectation sur le réseau, de répartition horaire, ... Lorsqu'un modèle traite simultanément dans une seule équation de deux ou plusieurs aspects de la demande on parle de modèles directs. Par contre si l'on utilise une équation pour traiter chaque aspect successivement on parle de modèles séquentiels (1).

D'autre part comme tous les modèles économétriques, ceux qui traitent des problèmes de transport sont liés aux données disponibles macro ou micro-économiques et partagent les modèles en deux types correspondants, les modèles agrégés et les modèles désagrégés. Dans les premiers on étudie le choix du mode de transport à travers les volumes ou les parts de trafic observés tandis que les seconds s'attachent aux comportements individuels. Les deux distinctions opérées définissent quatre types de modèles :

- modèles agrégés séquentiels
- modèles agrégés directs
- modèles désagrégés séquentiels
- modèles désagrégés directs

le but poursuivi étant moins de fournir une présentation générale des modèles économétriques de demande de transport que de les situer par rapport à l'analyse du choix modal interurbain, cette classification n'est utilisée qu'en fonction de l'aptitude des modèles à traiter ce problème. En particulier parmi les modèles désagrégés des modèles séquentiels ou directs sont récemment apparus mais limitent l'analyse aux transports intra-urbains c'est pourquoi la présentation se borne à l'étude des trois méthodes d'analyse probabiliste du choix modal et à leur comparaison.

---

(1) A. BONNAFOUS et B. GERARDIN : "La demande de transports de voyageurs en milieu urbain : méthodologie de l'analyse et de la prévision", CEMT, 32ème table ronde, Paris, 1976.

CHAPITRE III

LES MODÈLES AGRÉGÉS

Les premiers modèles de transport furent directement inspirés de l'équation de gravité de NEWTON, d'où leur nom de modèles gravitaires (1). Dans leur expression la plus simple on suppose que le trafic entre deux villes est proportionnel aux populations des deux villes et inversement proportionnel au carré de la distance entre les deux villes :

(III.1)
$$T_{ij} = k \frac{P_i P_j}{d^2_{ij}}$$

T_{ij} : trafic entre i et j

P_i, P_j : populations respectives des villes i et j

d_{ij} : distance entre la ville i et la ville j

k : coefficient à estimer.

Le fondement de ce modèle est qu'un point est d'autant plus attractif que sa masse est importante et d'autant moins qu'il se trouve éloigné : on retrouve bien la formulation de NEWTON. Dans le domaine particulier de l'attraction commerciale, ce modèle est souvent appelé Loi de REILLY (2) : une ville attire une clientèle rurale en raison directe de sa population agglomérée et en raison inverse du carré de la distance.

Mais les hypothèses strictes de l'équation de NEWTON n'ont pas toujours été confirmées. En particulier des études entreprises sur le sujet de l'attraction urbaine sous la direction du Professeur PIATER (3) ont révélé que la distance n'agit pas toujours selon l'inverse de son carré. De même rien n'indique sur le plan théorique que la population doive jouer dans un sens strictement proportionnel. Ces diverses raisons ont poussé à substituer rapidement au modèle gravitaire simple un modèle plus général de la forme :

---

(1) Un rapport allemand fait remonter à 1889 la première utilisation dans le domaine des transports du modèle gravitaire. Elle est l'oeuvre de LILL sur les chemins de fer autrichiens.

(2) William J. REILLY : "Methods for the Study of Retail Relationships", Université of Texas Bulletin, n° 2944, nov. 1929, in P. MORAN : "L'analyse spatiale en économie", Cujas, Paris, 1965, p. 149.

(3) Cf. R. DELBES : "La gravitation commerciale", in J.R. BOUDEVILLE : "L'espace opérationnel macro-économique", Cahiers de l'ISEA, série L n° 6, janvier 1960, et L. GIRAUD : "L'attraction commerciale et la loi de REILLY", Cahiers de l'ISEA série L n° 7, septembre 1960.

(III.2) $$T_{ij} = k \frac{P_i^{\alpha} P_j^{\beta}}{d_{ij}^{\gamma}}$$

où α, β et γ, coefficients de proportionnalité de chacune des variables, sont des paramètres à estimer.

Par la suite les modèles s'inspirant du modèle gravitaire se sont modifiés en incluant de nouvelles variables car la population n'est pas apparue suffisante pour caractériser la génération de trafic et l'attraction d'une ville, de même que la distance n'est qu'un facteur parmi ceux qui déterminent l'impédance du transport entre deux villes. Sous une forme très généralisée le trafic entre deux villes peut s'écrire :

(III.3) $$T_{ij} = k\, G_i\, A_j\, f(I_{ij})$$

G_i est une grandeur caractérisant la génération de trafic de déplacement de la zone i,

A_j est une grandeur caractérisant l'attraction de déplacement de la zone j,

$f(I_{ij})$ fonction d'impédance de transport entre i et j.

C'est à partir de ce type de modèle que se sont développées des recherches intégrant les différents modes de transport qui réalisent le trafic entre i et j.

Quel que soit le type de modèle, la théorie économique ou le simple bon sens imposent des exigences qui, faute d'être satisfaites, doivent conduire au rejet de ces modèles. John P. MAYBERRY (1) a cherché à les synthétiser sous forme d'axiomes mais son travail se réfère à la notion de "mode abstrait" : en raison de cette référence tous les axiomes n'ont pas, à notre avis, la généralité qu'il leur accorde. Finalement quatre de ces axiomes nous semblent applicables à tous les modèles :

Axiome 1 : le trafic total doit être égal à la somme des trafics de tous les modes.

Axiome 2 : Les fonctions de demande totale et modale sont des fonctions continues quand leurs arguments, c'est-à-dire les caractéristiques de tous les modes, sont non nuls.

Axiome 3 : Un mode de transport dont la fréquence est très faible doit avoir très peu d'influence sur la demande totale et sa répartition.

Axiome 4 : Lorsque le coût ou le temps de transport d'un mode décroît ou lorsque sa fréquence s'accroît, la demande totale ne doit pas diminuer et les demandes des autres modes ne doivent pas augmenter.

Un cinquième axiome mérite une attention particulière, il porte dans la littérature des transports le nom d'axiome des "autocars rouges et des

---

(1) John P. MAYBERRY : "Structural Requirements for Abstract Mode Models of Passenger Transportation", in Richard E. QUANDT : "The Demand for Travel", Heath, Lexington Books - Lexington (Massachusets), 1970, p. 105 à 125.

autocars bleus" et s'énonce ainsi : "Si certains autocars sont bleus et si les autres sont rouges et si nous les considérons comme deux modes de transport distincts, les prévisions de trafic ne doivent pas changer". Cet axiome exprime que la demande dépend uniquement des caractéristiques des modes de transport, autrement dit du niveau de service. Cette hypothèse est tout à fait légitime si parmi les caractéristiques on fait entrer tout ce qui distingue les divers modes de transport : or le coût, le temps et la fréquence, nous l'avons vu, ne peuvent suffire, comme l'affirme explicitement la formulation de J.P. MAYBERRY, à déterminer le niveau de service et, à la limite, une différence de couleur peut jouer un rôle dans le choix entre deux modes voisins. La neutralité modale exprimée par ce cinquième axiome n'est acceptable que dans le cadre restreint où l'on a pu définir tout ce qui caractérise les différents modes, ce qu'aucun modèle n'a encore réalisé.

I - MODÈLES AGRÉGÉS SÉQUENTIELS

1 - LE MODELE DE WILSON (1) FONDE SUR LA MAXIMISATION DE L'ENTROPIE

Partant d'une critique du modèle gravitaire simple tel qu'il découle de l'application directe de l'équation de NEWTON, A.G. WILSON propose une formule plus générale. Cette formulation purement intuitive au départ trouve un fondement théorique dans l'application d'une théorie statistique de déplacement spatial. L'introduction d'une diversité de modes de transport aboutit à une formulation de la répartition modale identique à la probabilité de choix de l'analyse logit lorsqu'existent deux modes.

L'attention n'est pas ici concentrée sur la relation entre deux zones ou deux villes, mais sur un ensemble de relations ; on représente cet ensemble par la matrice (T_{ij}) dont l'élément t_{ij} est le nombre de voyages entre i et j. En notant par O_i et D_j respectivement le nombre total de voyages issus de i et le nombre total de voyages arrivant à j, on a :

$$(III.4) \quad \sum_j T_{ij} = O_i$$

$$\sum_i T_{ij} = D_j$$

$$\sum_i \sum_j T_{ij} = T = \sum_i O_i = \sum_j D_j$$

Globalement ces trois conditions signifient que tous les voyages recensés à une origine quelconque i doivent parvenir à une destination j, et inversement : le réseau est fermé.

WILSON considère alors que le trafic ne saurait être expliqué par un modèle gravitaire de la forme :

$$(III.5) \quad T_{ij} = k \frac{O_i D_j}{d^2_{ij}}$$

car ce modèle ne peut satisfaire les contraintes que représentent les trois équations ci-dessus. Prenons par exemple le doublement d'un O_i et d'un D_j. Si l'on applique le modèle gravitaire, il conduit au quadruplement des voyages entre i et j alors que les contraintes imposent un doublement. Comme rien ne permet d'affirmer que la distance joue sur les

---

(1) A.G. WILSON : "A Statistical Theory of Spatial Distribution Models", Transportation Research, vol. I, 1967, p. 253 à 269 ; reproduit dans R.E. QUANDT : "The Demand for Travel : Theory and Measurement", op. cit.

voyages un rôle identique à celui qu'elle tient dans la physique newtonienne, A.G. WILSON propose d'introduire une fonction de distance qui mesure l'impédance entre i et j : celle-ci peut être mesurée en termes de temps, de coût ou de coût généralisé. Enfin, pour être assuré que le modèle satisfasse les contraintes initiales, il affecte à chaque zone des constantes d'émission et d'attraction A_i et B_j telles que :

$$A_i = \left[\sum_j B_j D_j f(d_{ij}) \right]^{-1}$$

$$B_j = \left[\sum_i A_i O_i f(d_{ij}) \right]^{-1}$$

Le modèle gravitaire proposé par A.G. WILSON devient alors :

$$(III.6) \quad T_{ij} = A_i B_j O_i D_j f(d_{ij})$$

Cette forme générale sera précisée à la suite d'hypothèses sur la distribution des voyages au sein du réseau.

Pour développer ce modèle il est nécessaire de poser une quatrième contrainte : les dépenses de transport représentent une somme fixe sur l'ensemble du réseau :

$$(III.7) \quad \sum_i \sum_j T_{ij} C_{ij} = C$$

L'idée originale de la méthode est de rechercher la matrice (T_{ij}) la plus probable si l'on répartissait les T mouvements au hasard tout en respectant les quatre contraintes. Chaque mouvement est considéré comme équiprobable. La méthode repose sur l'hypothèse fondamentale que la probabilité de distribution des T_{ij} est proportionnelle aux états du système. Par "état du système" il faut entendre toute combinaison possible des T trajets, telle que l'on respecte les quatre conditions.

On parvient ainsi à l'expression suivante :

$$(III.8) \quad T_{ij} = A_i B_j O_i D_j e^{-\beta c_{ij}}$$

où $A_i = \left[\sum_j B_j D_j \exp(-\beta c_{ij}) \right]^{-1}$

$$B_j = \left[\sum_i A_i O_i \exp(-\beta c_{ij}) \right]^{-1}$$

La distribution de voyages la plus probable est de même forme que celle prévue par le modèle gravitaire, ce qui lui donne un nouveau fondement théorique. Les A_i et B_j sont des variables de modération dont le rôle est de compenser respectivement l'attraction et la génération de trafic d'une zone : en quelque sorte une mesure de l'accessibilité d'une zone.

On suppose maintenant qu'il y a plusieurs modes de transport. T_{ij}, O_i, D_j et c_{ij} gardent la même signification mais il faut leur

ajouter T_{ij}, O_i^k, D_j^k et c_{ij}^k qui concernent les voyages accomplis par le mode k. En appliquant la même méthode que précédemment, A.G. WILSON parvient au résultat suivant :

$$T_{ij}^k = A_i B_j O_i D_j \exp(-\beta c_{ij}^k)$$

où $A_i = \left[\sum_j B_j D_j \sum_k \exp(-\beta c_{ij}^k) \right]^{-1}$

$$B_j = \left[\sum_i A_i O_i \sum_k \exp(-\beta c_{ij}^k) \right]^{-1}$$

Cette expression du trafic modal conduit à une répartition simple du trafic par mode sur la relation ij (1) :

$$\text{(III.9)} \qquad \frac{T_{ij}^k}{T_{ij}} = \frac{e^{-\beta c_{ij}^k}}{\sum_k e^{-\beta c_{ij}^k}}$$

C'est sous cette forme que le modèle a été appliqué pour la première fois en Angleterre sur des données de la région de Liverpool-Manchester par A.G. WILSON associé à A.F. HAWKINS et D.J. WAGON (2). Initialement créé pour analyser la répartition par mode et par itinéraire dans le cadre urbain, ce modèle a suscité des recherches dans le domaine interurbain. D.A. WALMSLEY et M.R. WIGAN l'ont appliqué sur deux relations de Grande-Bretagne, malheureusement non précisées (3). La pauvreté des données les a contraints à utiliser une technique d'estimation très rudimentaire.

Leur hypothèse initiale fait dépendre la répartition modale de la seule valeur du temps, supposée liée au revenu. Pour déterminer le coefficient de la valeur du temps les auteurs utilisent la concurrence air-fer puisqu'ils ne disposent de données adéquates que pour ces deux seuls modes ; il se révèle d'ailleurs que sur une des relations, la répartition est insensible à la valeur du temps en raison de temps de transport assez voisins. Ce résultat surprenant ne les empêche pas de déterminer graphiquement la valeur du coefficient β. Sur cette base le modèle est appliqué à l'ensemble des quatre modes et les résultats, quoique naturellement peu précis, sont convenables par rapport aux observations. Des prévisions sont effectuées admettant des hypothèses sur l'apparition de trains à grande vitesse, d'avions à décollage court ou d'autoroutes suburbaines.

---

(1) Notons la convergence avec le modèle d'affectation de P.R. RASSAM, R.H. ELLIS et J.C. BENNET.

(2) A.G. WILSON, A.F. HAWKINS, D.J. WAGON : "Calibration and Testing of the Selnec Transport Model", Regional Studies, vol. 3, p. 337 à 350. D.J. WAGON et A.F. HAWKINS : "The Calibration of the Distribution Model for the Selnec Study" Transportion Research, vol. 4, p.103 à 112.

(3) D.A. WALMSLEY et M.R. WIGAN : "A model for the study of modal choice in interurban travel", Transport Research Assessment Group and Road Research Laboratory.

Au modèle de répartition est associé un modèle de génération de type gravitaire :

$$(III.10) \quad T_{ij} = D_{ij} \exp \left[- \lambda f (c_{ij}) \right]$$

où D_{ij} est le nombre de voyageurs entre i et j avant les changements, et c_{ij} le coût généralisé d'un voyage entre i et j.

En posant $f(c_{ij}) = \text{Log } (c_{ij})$, on obtient :

$$(III.11) \quad T_{ij} = \frac{D_{ij}}{(c_{ij})^{\lambda}}$$

où le coût généralisé c_{ij}, quand il y a K modes, est défini par :

$$\exp (- \beta c_{ij}) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^{K} \exp (- \beta c_{ijk})$$

Le coefficient λ n'a malheureusement pas été estimé, il est posé alternativement égal à 0 et 1. Pour juger d'un tel modèle il faut disposer de données plus fiables et utiliser une méthode d'estimation moins empirique. Mais du seul point de vue théorique ce modèle fait l'objet de la critique suivante : la détermination du coût généralisé du voyage (ou de l'impédance de la liaison) à partir d'une moyenne des coûts généralisés des divers modes, rend le modèle inapte à prévoir les effets de l'introduction d'un nouveau mode ; si ce mode a un coût généralisé supérieur à la moyenne, son introduction aboutirait logiquement à prévoir une réduction du trafic global.

2 - LES MODELES DITS DE REPARTITION MODALE

Leur centre d'intérêt se trouve dans la façon dont on analyse la répartition du trafic entre les différents modes. A côté d'une équation destinée à mesurer le trafic global et dont la forme est de type gravitaire, apparaît une équation où la variable à expliquer est la part du trafic. Ce type de modèle est dû à Mc LYNN qui l'a formulé lors de l'analyse des problèmes de transport dans le Corridor Nord-Est américain. Par la suite ce modèle a été repris au Canada. Mais certaines difficultés rencontrées dans l'estimation ont incité des auteurs à proposer d'autres solutions à l'affectation modale, reposant notamment sur des hypothèses d'élasticité de répartition différentes.

21 - Le modèle de Mc LYNN (1)

Le fondement théorique de ce modèle s'appuie sur la notion de concurrence modale : tous les modes de transport sont concurrents entre eux sur la base de leurs caractéristiques. Ce postulat est transcrit en termes d'élasticités : les élasticités directes de la demande de chacun des modes doivent être négatives tandis que les élasticités croisées doivent être non négatives ; autrement dit, si un changement dans l'une des caractéristiques, les autres demeurant constantes, accroît la demande d'un mode, la demande pour les autres modes ne peut s'accroître. Enfin, pour spécifier son modèle, Mc LYNN rejette l'hypothèse d'élasticité constante et propose que toutes les élasticités puissent être exprimées comme une fonction linéaire de toutes les demandes modales. On obtient en notant par X_{ij} un ensemble de variables indépendantes caractérisant le mode j :

$$(III.12)\quad \frac{\Delta w(k)}{w(k)} \left[\frac{\Delta X_{ij}}{X_{ij}} \right]^{-1} = \begin{cases} \alpha_{ij} (1 - w(k)) & \text{si } j = k \\ \alpha_{ij}\, w(k) & \text{si } j \neq k \end{cases}$$

où w(k) représente la fraction de la demande satisfaite par le $k^{ème}$ mode.

Sous cette forme, cette relation exprime que l'élasticité de la demande d'un mode par rapport à ses propres variables est proportionnelle à la part du marché qu'il peut gagner et que l'élasticité croisée est proportionnelle à la part du marché qu'un autre mode peut perdre. Cette équation semble conduire à des solutions limites correctes. Si w(k) est voisin de l'unité, l'élasticité directe est pratiquement nulle et le modèle prédit qu'une amélioration de service n'accroîtra pas de façon importante la part du marché de ce mode, pas plus qu'une détérioration ne la diminuera de façon sensible. Un mode de transport qui assure une part importante du marché possède une supériorité assez nette au point que de petits changements dans les caractéristiques n'affectent guère cette supériorité. De même si w(k) est voisin de zéro, ce mode gagnera ou perdra une part significative de sa propre part du marché à la suite d'une amélioration ou détérioration de ses caractéristiques, mais cette part sera de faible importance dans l'ensemble du marché.

Ces hypothèses conduisent alors au modèle suivant :

$$(III.13)\quad w(k) = \frac{c_k \prod_i x_{ik}^{\alpha_{ik}}}{\sum_{j=1}^{m} c_j \prod_i x_{ij}^{\alpha_{ij}}} = \frac{w_k}{\sum_{j=1}^{m} w_k}$$

(1) *J.M. Mc LYNN et R.H. WATKINS : "Multimode assignment Model", Davidson, Talbird et Mc Lynn, Inc., 1965.*
J.M. Mc LYNN et R.H. WATKINS : "Analysis and Calibration of a Modal Allocation Model", Davidson, Talbird et Mc Lynn, Inc., 1967.
J.R. ENDRISS, J.M. Mc LYNN et D.E. SMITH : "Calibration of Multimode Assignment Model : Choice of the Base Mode" Davidson, Talbird et Mc Lynn, inc., 1967.
J.M. Mc LYNN et T. WORONKA : "Passenger Demand and Modal Split Models", Arthur Young and Co., Bethesda, Maryland, 1969.

w(k) est la fraction de la demande assurée par le mode k,

x_{ij} est la valeur de la $i^{ème}$ caractéristique pour le mode j,

α_{ij} et c_j sont les paramètres à estimer.

Ces paramètres, présentés sous cette forme, peuvent être déterminés de multiples façons. On peut supposer qu'ils sont spécifiques du mode ou au contraire qu'ils sont identiques ou encore que seuls certains sont spécifiques.

Sous cette écriture ce modèle est impropre à l'estimation par régression linéaire, par contre les rapports de w(k) peuvent se transcrire linéairement ; pour cela il faut choisir un mode de référence, en l'occurence l'automobile. En effet, en posant :

$$\mu_k = \text{Log}\left(\frac{w_k}{w_m}\right)$$

$$r_k = \text{Log}\left(\frac{c_k}{c_m}\right)$$

$$V_k = \text{Log } x_{ik}$$

où m indique le mode de référence,

le modèle prend la forme linéaire suivante :

(III.14)
$$\mu_k = r_k + \sum_{i=1}^{3} \alpha_{ik} V_{ik} - \sum_{i=1}^{2} \alpha_{im} V_{im}$$

Le problème se réduit en pratique à trouver pour chaque mode k ceux des r_k et des α_{ik} qui minimisent :

$$\sum (\mu_k - \hat{\mu}_k)^2$$

où μ_k est le logarithme des valeurs observées,

$\hat{\mu}_k$ est le logarithme des valeurs prévues.

Plusieurs régressions sont effectuées sous diverses hypothèses de temps et de coût. Mais, d'une part l'existence de colinéarité prive les coefficients de signification car le temps et le coût de transport sont liés linéairement et d'autre part l'obtention de coefficients différents pour l'automobile et de mauvais résultats pour l'autocar contraignent les auteurs à chercher des solutions plus spécifiques.

La régression simultanée des trois équations offre un ensemble unique de coefficients pour l'automobile. Mais un problème subsiste toujours puisque certains exposants sont positifs et leur présence peut être imputable à l'existence d'une liaison linéaire entre le temps et le coût des divers modes de transport.

Pour résoudre ce problème Mc LYNN propose une solution fondée sur l'échange entre le temps et le coût. Il suppose que les exposants de ces deux variables sont liés de telle sorte que :

$$\alpha_{2k} = \lambda_k \alpha_{1k}$$

Dans ces conditions μ_k s'écrit :

$$(III.15) \quad \mu_k = r_k + \alpha_{1k} \{ V_{1k} + \lambda_k V_{2k} \} + \alpha_{3k} V_{3k} - \sum_{i=1}^{2} \alpha_{im} V_{im}$$

et l'on pose :

$$V_k = V_{1k} + \lambda_k V_{2k}$$

Avant d'estimer les paramètres α_{1k}, α_{3k} et α_{im}, il est nécessaire d'évaluer λ_k. Or λ_{2k} par hypothèse est égale à :

$$\frac{\alpha_{2k}}{\alpha_{1k}}$$

Des hypothèses du modèle on déduit que l'élasticité de substitution entre le temps et le coût est égale à :

$$\frac{x_{1k}}{x_{2k}} \times \frac{\partial x_{2k}}{\partial x_{1k}} = - \frac{\alpha_{2k}}{\alpha_{1k}} = - \lambda_k$$

Par simple régression et pour chaque mode on peut déterminer le coefficient γ qui lie le temps et le coût :

$$x_{2k} = \gamma_k x_{1k}$$

On obtient alors la relation :

$$\frac{1}{\gamma_k} \times \frac{\partial x_{2k}}{\partial x_{1k}} = - \lambda_k$$

où $\frac{\partial x_{2k}}{\partial x_{1k}}$ est assimilable à la valeur du temps. Mc LYNN suppose qu'elle est constante et la pose égale à $ 5,50 par heure (1). Cette évaluation associée à la détermination de γ_k permet d'obtenir λ_k, ce qui achève de spécifier le modèle.

Le modèle de Mc LYNN a été appliqué aux Etats-Unis et au Canada. Les résultats ne sont guère comparables car les hypothèses initiales sur les trafics analysés sont différentes. Mc LYNN considère quatre modes de transport dans le Corridor Nord-Est ; la Commission canadienne de Recherche dans les Transports n'analysent que l'affectation modale entre les transports en commun dans la région du Saint-Laurent, de Québec à Windsor ; en outre elle applique le modèle dans l'optique de mode abstrait puisqu'elle impose les mêmes coefficients pour tous les modes (2).

(1) Cette estimation a été obtenue à partir des revenus totaux annuels rapportés à la population, divisés par 1825 heures.

(2) Canadian Transport Commission Research Branch : "Intercity Passenger Transport Study", sept. 1970. Un résumé de ce rapport est paru sous la signature de Eric CULLEY : "Forecasting Intercity Travel", in Papers - Eleventh Annual Meeting, Transportation Research Forum, New-Orléans, Octobre 1970, p. 49 à 67.

Dans les travaux du Corridor Nord-Est, les seuls qui intègrent tous les modes de transport, la répartition modale est supposée dépendre des trois variables classiques : le temps, le coût et la fréquence. Pour le coût automobile Mc LYNN divise le coût total par trois pour essayer de se rapprocher du coût perçu par l'usager. Quant à la fréquence, deux mesures ont été testées : d'abord l'inverse de la fréquence, puis une quantité F' variant de 0 à 1, telle qu'elle est nulle lorsque la fréquence F est nulle et qu'elle tend asymptotiquement vers 1 lorsque F devient élevée, ce qui est le cas de l'automobile.

$$F' = 1 - e^{-KF}$$

L'élimination de la colinéarité à la suite de l'introduction du paramètre λ a considérablement amélioré les résultats puisque toutes les élasticités ont le signe correct.

Nous présentons le résultat de l'estimation où Mc LYNN a considéré que la constante était la même pour tous les modes ; par contre aucune contrainte n'est imposée aux différentes élasticités.

$$W_{(air)} = e^{-4,2315} (T)^{-1,0884} (C)^{-1,8227} \left(\frac{1}{F}\right)^{-0,8005}$$

$$W_{(train)} = e^{-4,2315} (T)^{-2,6267} (C)^{-1,0492} \left(\frac{1}{F}\right)^{-1,4420}$$

$$W_{(autocar)} = e^{-4,2315} (T)^{-2,6262} (C)^{-0,5894} \left(\frac{1}{F}\right)^{-0,9562}$$

$$W_{(automobile)} = 1 \quad (T)^{-2,3368} (C)^{-0,9136}$$

On remarque que le train et l'autocar sont les plus sensibles aux variations de temps qui affectent moins la voiture ; de ce point de vue les trois modes terrestres se séparent de l'avion dont le coefficient est proche de l'unité. Peu sensible au temps, l'avion l'est au coût, suivi par le train, l'automobile et l'autocar.

Dans le modèle canadien la fréquence est introduite sous une forme différente et le modèle appliqué aux seuls transports en commun conduit au résultat suivant :

$$W_i = K_i (T_i)^{-3,05} C_i^{-4,85} e^{-\frac{6,0}{F_i}}$$

où T et C représentent respectivement le temps et le coût. K_i est une constante spécifique de chaque mode.

K_i = 1,65 pour l'autocar

K_i = 10,00 pour le train

K_i = 31,8 pour l'avion

Elle représente en quelque sorte le "bonus" du mode en question. A temps, coût et fréquence égaux, l'avion est le mode qui attirerait la plus grande part de la clientèle. Notons encore que les élasticités sont élevées, ce qui indique une relative mobilité entre les deux modes. Ce modèle a été appliqué pour prévoir les effets d'une amélioration de l'offre sur l'axe Toronto-Montréal. Il indique en particulier que la mise en service d'un aérotrain, réduisant de moitié le temps de transport ferroviaire,

ferait passer la part du trafic ferroviaire de 36 à 54 % du trafic total des modes de transport en commun. Le défaut majeur d'un tel modèle est de méconnaître l'influence du transport automobile pour déterminer la répartition modale. S'il est vrai que l'automobile est un mode bien différent des modes de transport en commun, il nous paraît difficile de conclure comme les auteurs du rapport qu'il n'est pas besoin de connaître le trafic automobile pour déterminer le trafic des modes de transport en commun. Même si la substitution de trafic entre les modes de transport en commun et l'automobile est plus faible qu'entre les modes de transport en commun entre eux, on ne peut admettre que celle-ci soit nulle. En réalité la raison profonde d'une telle attitude réside dans l'insuffisance des données du trafic de l'automobile, puisque le temps et le coût du transport automobile sont introduits dans l'équation de génération de trafic des modes de transport en commun. Cette structure de modèle est conceptuellement inacceptable, seules des raisons pratiques relatives au défaut de données peuvent la justifier.

22 - Les alternatives à la solution de Mc LYNN

La solution proposée par Mc LYNN pour éliminer la colinéarité n'a pas toujours rencontré le succès escompté. Ainsi Raymond H. ELLIS et Paul R. RASSAM parviennent à des résultats en contradiction avec l'axiome 4 et proposent un modèle qui élimine plus radicalement la colinéarité, puisque une seule variable y est introduite ; l'estimation aboutit à une courbe de diversion de trafic. L'incorporation d'une seule variable limite considérablement le pouvoir explicatif d'un tel modèle, c'est sans doute la raison qui poussa ces auteurs à proposer en collaboration avec John C. BENETT un modèle plus complet, voisin de celui de Mc LYNN, dont la particularité est de conduire à une répartition modale logistique. Enfin sur des bases plus empiriques, Solita MONSOD propose un modèle à élasticité constante.

Pour échapper au risque de colinéarité inhérent à tous les modèles qui incorporent simultanément le temps et le coût du transport, R.H. ELLIS et P.R. RASSAM n'introduisent qu'une seule variable explicative, combinaison linéaire des différences de temps et de coûts de chaque mode :

$$(III.16) \quad x = \alpha \, \Delta t + \beta \, \Delta c$$

avec $\Delta t = t_2 - t_1$
$\Delta c = c_2 - c_1$

où α et β sont deux coefficients spécifiés. Fondés sur la notion de différence, une telle approche n'aborde que le problème de la répartition entre deux modes.

Ce modèle repose sur l'idée qu'une modification dans la part du marché d'un mode consécutive à une modification de la variable explicative est proportionnelle aux parts respectives des divers modes et à ce changement. Mathématiquement cette hypothèse se présente sous la forme :

$$(III.17) \quad dw_1 = p \, w_1 \, w_2 \, dx$$

où w_1 représente la part du marché du mode 1

w_2 la part du mode 2

p est le coefficient à estimer

w_1 et w_2 sont liés par la relation $w_1 + w_2 = 1$ si l'on veut que le modèle satisfasse l'axiome 1. On peut alors écrire :

$$\frac{d\, w_1}{w_1\,(1 - w_1)} = p\,dx$$

L'intégration de cette fonction différentielle conduit à :

(III.18) $$w_1 = \frac{1}{1 + \exp\,(-\,px - a)}$$

où a est une constante d'intégration à estimer. De la même manière on parvient à :

(III.19) $$w_2 = \frac{1}{1 + \exp\,(-\,qx - b)}$$

où q et b sont les paramètres correspondant respectivement à p et a.

Les quatre paramètres doivent satisfaire l'identité suivante :

(III.20) $$w_1 + w_2 = \frac{1}{1 + \exp\,(-\,px - a)} + \frac{1}{1 + \exp\,(-\,qx - b)} \equiv 1$$

soit $(p + q)\,x + (a + b) \equiv 0$ quel que soit x.

Il faut alors que $q = -\,p$ et $b = -\,a$

Ce résultat est particulièrement important puisqu'il indique qu'il suffit d'estimer l'une des deux équations.

L'estimation du modèle se fait par simple régression linéaire. En effet,

$$w_1 = \frac{1}{1 + \exp\,(-\,px - a)}$$

s'écrit : $\text{Log}\,\frac{w_2}{w_1} = px + a$

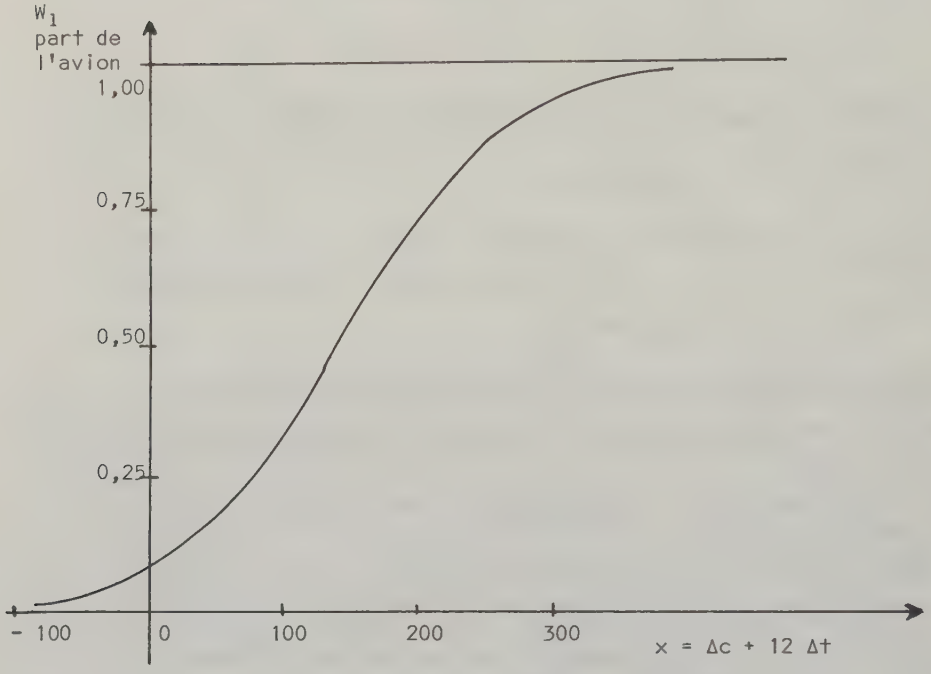
C'est la concurrence entre l'automobile et l'avion qui a servi d'application à partir de données établies aux Etats-Unis en 1967. Deux ajustements ont été effectués selon que l'on intégrait les coûts et le temps de nuit en automobile. Les résultats correspondant à cette intégration étant assez décevants, les auteurs ont décidé d'éliminer tous les voyages inférieurs à 160 kilomètres.

La technique d'estimation suit malheureusement une méthode trop empirique puisque le modèle est testé pour différentes valeurs de α et β. Le meilleur résultat est obtenu lorsque β est nul, mais les valeurs de p, en ce cas négatives, impliqueraient qu'un accroissement du coût automobile ou une baisse du coût de l'avion diminuerait la part de ce dernier. Le coefficient β alors posé arbitrairement égal à 1, on fait varier le

coefficient α. Pour des valeurs supérieures à 10 les résultats se stabilisent, finalement la valeur 12 choisie conduit à l'équation suivante pour la courbe de diversion :

$$W_1 = \frac{1}{1 + \exp\ (-\ 0{,}0192\ x + 2{,}470)}$$

Le graphe de cette courbe se présente ainsi :



L'avantage d'éliminer la colinéarité limite par ailleurs les possibilités de recherche. Ce modèle repose sur une seule variable explicative ; même si celle-ci est une variable composite des différences de temps et de coût, il est évident que la recherche très empirique des coefficients α et β n'assure pas une grande valeur aux estimations du modèle ni à son pouvoir de prévision.

Sans doute conscients de l'insuffisance de l'approche de la courbe de diversion, R.H. ELLIS et P.R. RASSAM associés à J.C. BENNETT (1) développent un modèle qui n'est pas limité à l'analyse bi-modale et qui peut incorporer plusieurs variables.

L'hypothèse centrale postule que le changement dans la part d'un mode à la suite d'une modification dans l'une des variables explicatives est proportionnel à la part de ce mode et à une fonction linéaire des parts des autres modes. Cette relation s'exprime mathématiquement ainsi :

---

(1) Paul R. RASSAM, Raymond H. ELLIS et John C. BENNETT : "The n Dimensional Logit Model : Development and Application", Highway Research Record, n° 369, in Choice of Travel Mode and Considerations in Travel Forecasting", p. 135 à 147.

(III.21) $$\frac{\partial w_m}{\partial x_{ij}} \; w_m \sum_k \alpha_{ijmk} \, w_k$$

où x_{ij} est la valeur de la $i^{ème}$ caractéristique pour la $j^{ème}$ mode,

w_m est la part du mode m,

w_k est la part du mode k,

α_{ijmk} est un coefficient à déterminer, j indique le mode dont la variable s'est modifiée, m le mode dont la répartition change, k le mode dont la part a une influence sur la part du mode m à la suite du changement dans i du $j^{ème}$ mode.

Si M et I sont respectivement le nombre de modes et le nombre d'attributs, il y a (M x I x M) équations différentielles qui définissent l'ensemble des w_m. Un tel modèle implique l'estimation d'un grand nombre de coefficients, mais les auteurs font remarquer qu'il est raisonnable de penser que les conditions imposées aux fonctions de demande conduisent certains coefficients à avoir des valeurs déterminées a priori. Ainsi :

$$\alpha_{ijmk} = 0 \text{ si } j \neq k \neq m$$

$$\alpha_{ijkj} = - \alpha_{ijjk} \text{ si } j \neq k$$

$$\alpha_{ijkk} = 0$$

$$\alpha_{ijjk} = \alpha_{ijjm} = \alpha_{ij}$$

Ces contraintes permettent de simplifier la relation précédente :

(III.22) $$\frac{\partial w_m}{\partial x_{ij}} = \Delta_{jm} \, w_m$$

où

$$\Delta_{jm} = \begin{cases} - \alpha_{ij} \, w_j & \text{si } (m \neq j) \\ \alpha_{im} \, (1 - w_m) & \text{si } (m = j) \end{cases}$$

On peut montrer que la solution de ce système d'équations différentielles est :

(III.23) $$w_m = \frac{\exp \sum_i (\alpha_{im} \, x_{im} + \alpha_m)}{\sum_j \exp \left(\sum_i \alpha_{ij} \, x_{ij} + \alpha_j \right)}$$

où α_j est une constante d'intégration spécifique du mode.

L'équation (III.22) peut être transformée sous forme d'élasticité :

$$(III.24)\quad \frac{x_{ij}}{w_m}\frac{\partial w_m}{\partial x_{ij}} = \begin{cases} -\alpha_{ij}\, w_j\, x_{ij} & \text{si } (m \neq j) \\ \alpha_{im}\,(1 - w_m)\, x_{im} & \text{si } (m = j) \end{cases}$$

Cette équation signifie que l'élasticité de w_m par rapport à x_{ij}, la $i^{ème}$ caractéristique du mode j, est proportionnelle à s_{ij} et à la part w_j de ce mode ; l'élasticité de w_m par rapport à ses propres caractéristiques est proportionnelle à x_{im} et à la part du marché que ce mode peut gagner. La seule différence avec le modèle de Mc LYNN est l'apparition de la valeur initiale de la caractéristique ; plus elle est élevée, plus les élasticités seront fortes : l'influence relative est d'autant plus grande que la situation initiale de la caractéristique modifiée est défavorable (temps et coûts élevés). Quand aux solutions limites, elles sont identiques à celles du modèle de Mc LYNN : une part supplémentaire du marché est d'autant plus difficile à conquérir que la part initiale est importante ; le risque de perdre une part significative de son propre marché s'accroît lorsque le mode concurrent occupe une place importante. D'un point de vue analytique ce modèle est semblable à celui auquel est parvenu A.G. WILSON, la seule différence est que le coût généralisé est exprimé comme une forme linéaire des diverses caractéristiques modales (1).

Dans le cadre des travaux de Mathematica, Solita MONSOD a été amenée à proposer un modèle de demande ferroviaire, mais elle refuse l'approche qui conduit à un modèle spécifique de la demande ferroviaire (2). De ses travaux il ressort qu'il existe une demande globale qui se partage entre les différents modes en fonction de leurs caractéristiques ; et il est donc impossible de construire un modèle de demande ferroviaire indépendamment des autres modes.

Celui qu'elle propose se compose donc d'un modèle de génération et d'un modèle d'affectation qui seul retient actuellement notre attention. L'équation fondamentale retenue implique que la part d'un mode par rapport à celle du mode de référence dépend des rapports des caractéristiques de ces modes. D'autre part, sans que cela soit justifié d'un point de vue théorique, la relation supposée entre les variables explicatives et la variable expliquée est une relation à élasticité constante.

$$(III.25)\quad \frac{T_{ijk}}{T_{ijr}} = e^{\alpha 0}\left(\frac{C_{ijk}}{C_{ijr}}\right)^{\alpha 1}\left(\frac{H_{ijk}}{H_{ijr}}\right)^{\alpha 2}\left(\frac{D_{ijk}}{D_{ijr}}\right)^{\alpha 3}\bar{Y}_{ij}^{\ \alpha 4}$$

où T_{ijk} et T_{ijr} sont les trafics respectifs des modes k et r (r = rail). Entre i et j

---

(1) Nous ne reproduisons pas ici les résultats auxquels sont parvenus les auteurs puisqu'ils ne s'intéressent qu'au choix du mode terminal à l'aéroport de Washington-Baltimore.

(2) Solita C. MONSOD : "A Cross-Sectional Model of the Demand for Rail Passenger Service in the Northeast Corridor", Studies in Travel Demand, vol. II, 2ème partie, Mathematica, 1966, p. 157 à 191.

C_{ijk} et C_{ijr}, leurs coûts respectifs,

H_{ijk} et H_{ijr}, leurs temps respectifs,

D_{ijk} et D_{ijr}, leurs fréquences journalières moyennes,

Y_{ij}, le revenu moyen en i et j,

$\alpha 0$, $\alpha 1$, $\alpha 2$, $\alpha 3$ et $\alpha 4$ sont des paramètres à estimer.

L'estimation de ce modèle ne pose aucun problème particulier puisque la relation est linéaire dans les logarithmes :

$$\text{Log}\left(\frac{T_{ijk}}{T_{ijr}}\right) = \underset{(14,61)}{29,06} - \underset{(-8,26)}{8,88}\ \text{Log}\left(\frac{C_{ijk}}{C_{ijr}}\right) - \underset{(6,48)}{1,46}\ \text{Log}\left(\frac{H_{ijk}}{H_{ijr}}\right) + 0,67\ \text{Log}\left(\frac{D_{ijk}}{D_{ijr}}\right)$$

avec $R^2 = 0,8033$

$F(3,81) = 113,23$

Tous les signes des coefficients sont corrects par rapport aux axiomes énoncés : plus les coûts et les temps ferroviaires sont faibles, plus la part du trafic ferroviaire est importante ; il en est de même si la fréquence s'élève. Dans ce modèle, seuls les temps principaux ont été incorporés.

Un modèle d'inspiration voisine a été testé en Allemagne par une Commission du Ministère Fédéral des Transports (1). Consciente de la difficulté d'incorporer l'automobile en raison de l'incertitude liée à certaines données, la Commission allemande propose une solution guère plus attrayante que la Commission canadienne. Elle propose d'étudier séparément la répartition du trafic automobile ; un graphique montre que la part de l'automobile décroît légèrement en fonction de la distance : de 75 % à 100 kilomètres, elle passe à 45 % à 500 kilomètres. Comme le temps est lié à la distance, l'idée est de faire dépendre la part de l'automobile de son seul temps.

$$\frac{T_{ijA}}{T_{ij}} = 0,8175 - 0,858\ t_{ijA} \cdot 10^{-3}$$

où t_{ijA} est le temps automobile exprimé en minutes. Un tel modèle revient à nier l'existence d'une véritable concurrence entre l'automobile et les autres modes de transport, le train en particulier, puisque la part de l'automobile n'est pas affectée par des améliorations des services aériens ou ferroviaires.

---

(1) BUNDESMINISTERS FÜR VERKEHR : "Die Beurteilung von Investitionen im Fernreiseverkehr der Deutschen Bundesbahn und im Luftverkehr der Bundesrepublik Deutschland bis 1980" Schriftenreihe des Bundesministers für Verkehr, Heft 40, 1972.

Par contre la concurrence air-fer est analysée à l'aide d'un modèle analytiquement assez proche de celui de Solita MONSOD :

$$\frac{T_{ijAir}}{T_{ijFer}} = 0,291 \left(\frac{t_{ijFer}}{t_{ijAir}}\right)^{3,074} \left(\frac{n_{ijAir}}{n_{ijFer}}\right)^{1,042}$$

où t_{ij} marque les temps respectifs de chaque mode,

n_{ij} leurs fréquences respectives.

Le rapport des temps est inversé par rapport au modèle de Solita MONSOD ; le seul intérêt de cette modification est de faire apparaître un coefficient positif. Les coûts initialement introduits ne se sont pas avérés significatifs, cela ne signifie pas qu'ils ne jouent aucun rôle dans le choix mais ils apparaissent trop liés au temps et à la fréquence et le phénomène de multicolinéarité, bien classique dans les analyses de transport, apparaît. Un modèle identique est appliqué à la concurrence air-fer première classe :

$$\frac{T_{ijAir}}{T_{ijFer1ère}} = 1,288 \left(\frac{t_{ijFer1ère}}{t_{ijAir}}\right)^{2,624} \left(\frac{n_{ijAir}}{n_{ijFer1ère}}\right)^{0,590}$$

On remarque que dans les deux cas la sensibilité au temps de transport est beaucoup plus élevée que la sensibilité à la fréquence. La combinaison des deux équations a servi à la répartition entre l'air et le fer, considérant la part de l'automobile comme insensible aux modifications de l'offre des deux autres modes.

Ce modèle est à notre connaissance la première tentative d'approche globale en Europe. Cette recherche est imprégnée d'un souci de parvenir à un résultat pratique à partir des données et des techniques existantes. Si dans cette perspective on peut accepter dans une première étape que l'automobile soit considérée comme un mode à part, cela ne l'est plus sur la base des considérations micro-économiques que nous avons développées dans le chapitre I. Cette étude souligne une fois de plus l'insuffisance des données relatives au transport automobile, et le frein qu'elle constitue au développement de modèles globaux de la demande de transport.

3 - UN MODELE DE PURE REPARTITION MODALE : LE MODELE DYNAMIQUE D'ALAIN BIEBER (1)

Le modèle d'Alain BIEBER est centré sur l'idée que le choix du mode de transport est le résultat d'un processus évolutif. Il fait sur ce point explicitement référence à la théorie de l'apprentissage qui, sans refuser l'hypothèse de rationalité de la théorie classique, considère que l'individu cherche à améliorer son bien-être par adaptations successives à son environnement. Ainsi l'individu aurait une probabilité

(1) *Alain BIEBER : "Modal Evolution of Intercity Travel Demand : A Markovian Analysis", Thèse Université de Californie - Berkeley, oct. 1966.*

de choisir les différents modes mais cette probabilité se modifierait à chaque période à la suite d'un processus d'apprentissage. Il faut donc trouver la loi qui permet de passer de la probabilité début de période à celle de fin de période. A. BIEBER en vient ainsi à énoncer que le choix du mode de transport peut être appréhendé comme le résultat d'un processus markovien.

On note par p_{ij}^{τ} la probabilité que l'individu observé utilise le mode i au début de la période τ et le mode j à la fin de la période. Or la théorie de l'apprentissage implique qu'il existe une probabilité non nulle que l'individu garde le mode défavorable, de même qu'il existe une probabilité non nulle que l'individu passe du meilleur mode au plus mauvais. Soit λ_2^{τ} et λ_1^{τ} ces deux probabilités, les quatre probabilités de transition peuvent alors s'écrire :

$$p_{11}^{\tau} = 1 - \lambda_1^{\tau} \qquad p_{12}^{\tau} = \lambda_1^{\tau}$$

$$p_{21}^{\tau} = 1 - \lambda_2^{\tau} \qquad p_{22}^{\tau} = \lambda_2^{\tau}$$

En connaissant cet ensemble de probabilités de transition et l'ensemble des probabilités m_1^{τ} et m_2^{τ} que l'individu emploie respectivement le mode 1 et le mode 2 au début de la période τ, il est possible d'exprimer les probabilités que l'individu choisisse les modes 1 et 2 au début de la période suivante en appliquant le théorème des probabilités conditionnelles :

$$(III.26) \quad m_1^{\tau+1} = p_{11}^{\tau} m_1^{\tau} + p_{21}^{\tau} m_2^{\tau} = (1 - \lambda_1^{\tau}) m_1^{\tau} + (1 - \lambda_2^{\tau}) m_2^{\tau}$$

$$m_2^{\tau+1} = p_{12}^{\tau} m_1^{\tau} + p_{22}^{\tau} m_2^{\tau} = \lambda_1^{\tau} m_1^{\tau} + \lambda_2^{\tau} m_2^{\tau}$$

Le cas particulier de deux modes peut être généralisé. Notons par m^{τ} le vecteur colonne à n dimensions, s'il y a n modes, des probabilités de choix de ces modes au début de la période τ et par P^{τ} la matrice des probabilités de transition valables pour cette même période ; on a :

$$(III.27) \quad m^{\tau+1} = m^{\tau} p^{\tau}$$

$$m^{\tau+s} = m^{\tau} \prod_{k=\tau}^{k=k+s} p^{k}$$

et si l'on suppose la stabilité du processus évolutif :

$$(III.28) \quad m^{\tau+s} = m^{\tau} [P]^{s}$$

ce qui définit une chaîne de Markov stationnaire.

En principe, le modèle exige d'estimer des probabilités de transition à partir de données individuelles, puis connaissant les comportements individuels, de les agréger pour obtenir une évolution globale. Mais le manque de données adéquates et les difficultés théoriques

que pose le problème de l'agrégation ont contraint A. BIEBER à transposer directement au niveau macro-économique le comportement individuel décrit précédemment. Les probabilités de transition sont alors remplacées par leurs équivalents macro-économiques observables : les composantes de la matrice P représentent la proportion de voyageurs qui au cours de la période t passent du mode i au mode j. Quant aux composantes du vecteur m^t, ce sont les nombres d'utilisateurs de chaque mode au début de la période t.

L'estimation de ce modèle exige de trouver la matrice optimale des probabilités de transition. Celle-ci est obtenue en minimisant une fonction objectif sous des contraintes de cohérence. D'autre part le défaut du processus markovien ainsi défini est de considérer la demande de transport constante sur l'ensemble des périodes. Or la perpétuelle évolution du marché des transports exige de tenir compte d'une demande nouvelle à chaque période. A. BIEBER introduit cette nouvelle demande selon deux hypothèses : l'une consiste à estimer les probabilités de choix des nouveaux voyageurs, l'autre découle d'une hypothèse d'inertie et affecte à ces nouveaux voyageurs les probabilités des voyageurs de la période précédente.

Finalement A. BIEBER applique en fonction de diverses hypothèses quatre modèles sur deux ensembles de données : des données du marché américain et des données californiennes. La première partie de l'analyse porte sur l'étude de la structure de la matrice des probabilités de transition, la seconde présente des prévisions sur le partage du marché des transports. Quelques résultats troublants au niveau de la structure conduisent à des évolutions modales assez curieuses, c'est ainsi que des modèles conduisent à un détournement complet du trafic au profit de l'avion, solution bien peu réaliste.

En conclusion de son étude, A. BIEBER reconnaît à son modèle deux faiblesses qui proviennent de l'hypothèse de la stabilité des probabilités de transition. Cette hypothèse implique en effet que la répartition modale converge vers un état stationnaire qui résulte du prolongement des tendances passées. Le modèle est donc incapable de prévoir l'influence des modifications technologiques et par suite il se révèle impropre à fournir des prévisions utiles pour le responsable d'une politique de transport.

L'idée de bâtir un modèle dynamique est pourtant très intéressante car seul ce type de modèle détient un réel pouvoir de prévision, mais le cadre markovien paraît inadéquat puisqu'il s'avère extrêmement difficile d'introduire les caractéristiques modales qui sont à l'origine du choix. Ceci constitue la limite majeure du modèle de A. BIEBER et explique l'abandon de cette voie de recherche. En outre la transposition de l'analyse théorique du comportement individuel au niveau macro-économique par simple assimilation des probabilités à des fréquences ne permet pas d'introduire les disparités des préférences individuelles.

II - LES MODÈLES AGRÉGÉS DIRECTS

1 - LES MODELES A CHOIX DE MODE SPECIFIQUE

11 - Le modèle de la SARC (1)

Le développement de la vaste conurbation du Corridor Nord-Est américain, provoquant d'importants problèmes de transport est à l'origine de modèles dont le but est d'éclairer les responsables de la politique de transport. Plus qu'au volume du trafic dans son ensemble, c'est à la répartition entre modes que ce modèle s'intéresse. La représentation développée dans cette étude est destinée à permettre d'évaluer le nombre de voyages aller-retour, par mode de transport entre villes. Elle distingue l'effet des facteurs socio-économiques et des facteurs de transport, rendant possible l'estimation de l'effet sur le voyage par un mode de transport déterminé, d'un changement dans l'environnement, le prix ou la durée de ce mode de transport ou des autres modes de transport. Cette représentation tient donc compte de la concurrence entre les différents moyens de transport, en ce sens qu'elle prévoit qu'un changement dans les caractéristiques d'un mode influera sur la demande des autres modes. Un des aspects les plus originaux du rapport de la SARC, vraisemblablement dû à son caractère pionnier en ce domaine, est la longue discussion consacrée aux problèmes des données. Nous en reprenons ici les points essentiels soulevés par les auteurs de ce modèle car la définition des données se pose en question à tout concepteur de modèle (2). Par la suite nous n'y reviendrons plus sauf pour des cas d'espèces. Comme dans la plupart des modèles de ce genre il faut distinguer les variables socio-économiques des variables du système de transport.

Par nature le modèle gravitaire accorde à la population un rôle important ; considérée à la fois comme une source de voyageurs et comme une mesure de l'attraction d'une ville, la population joue donc dans les deux sens. Les auteurs en avaient envisagé plusieurs mesures : population globale, population de plus de 14 ans, nombre de ménages ; mais pour toutes les villes étudiées, les rapports entre ces trois mesures étant supérieurs à 0,99, la population globale seule a été retenue parce que la plus simple à calculer. Mais si la population totale a paru constituer une bonne mesure pour l'évaluation de la demande de voyages pour convenances personnelles, elle a paru, aux yeux des auteurs, mal se prêter à l'estimation des voyages d'affaires. Finalement ils ont choisi d'utiliser le nombre d'emplois, bien que le rapport des proportions entre l'emploi et la population pour chaque couple de villes soit

---

(1) SARC (System Analysis and Research Corporation) : "Demand for Intercity Passenger Travel in the Washington - Boston Corridor", prepared for the US Department of Commerce. P.B. 166 884, 1966, 150 pages.

(2) Cf. également à ce sujet : Mark L. ROSE : "Some Problems and Prospects in Collecting Data on Travel Demand", Studies in Travel Demand, vol. III, chap. 12, Mathematica, juillet 1966. "Further Considerations Concerning the Data on Travel Demand", Studies in Travel Demand, vol. IV, chap. 9, Mathematica, mai 1969.

supérieur à 0,99. En fait, ce n'est pas tant la masse globale de l'emploi que sa composition qui importe ; on a observé en particulier des écarts importants dans le nombre de voyages par employé selon le type d'industries. Le modèle toutefois ne permet pas d'analyser l'influence de la structure de l'emploi.

En tant qu'indicateur des possibilités de voyage on a introduit le revenu. Bien que la distribution des revenus au coeur d'une ville soit la mesure à préférer, pour des raisons de simplicité le revenu moyen par tête a seul été retenu. Lorsqu'on a pris en compte les principales variables du peuplement, de l'activité économique et du revenu, des différences substantielles subsistent dans le niveau des transports intervilles de localités qui sont tout à fait comparables sous tous les aspects discutés précédemment. Lorsque l'on compare des facteurs tels que le climat, le niveau et la nature des affaires des villes, leur intérêt historique ou les divertissements qu'elles offrent, il est manifeste que chaque ville possède un groupe de caractéristiques qui la rend plus ou moins attrayante et que ces caractéristiques ne jouent pas le même rôle suivant le motif. Dans le but d'établir une mesure unique de l'attraction de chaque ville, les auteurs ont calculé le nombre d'emplois à temps complet corrigé des variations saisonnières, dans les hôtels, restaurants, cafés et lieux de spectacles et de divertissement pour mille habitants. En faisant l'hypothèse qu'une ville est d'autant plus attractive que le lieu de résidence l'est peu, l'indice d'attraction relative est alors le rapport de l'indice d'attraction de la ville destination sur l'indice d'attraction de la ville de domicile.

Le temps de transport pris en compte est un temps global du point origine au point destination. Le temps de transport automobile est le temps moyen mis pour aller du centre d'une ville au centre de la ville destination. Par contre, pour les modes de transport en commun, les auteurs ont tenu compte en plus du temps principal le plus court sur la relation considérée, des différents temps terminaux, des temps d'attente ainsi que d'un temps mesurant la contrainte qu'impose le respect des horaires (1). La somme de tous ces éléments détermine donc le temps de transport en commun. Les auteurs reconnaissent que chacun de ces éléments peut avoir une influence différente dans la détermination du trafic mais aucune analyse de ces différents effets ne sera tentée à l'aide de ce modèle et il nous semble que seule une analyse désagrégée peut permettre ce genre d'étude. De même, les coûts sont pour les modes de transport en commun la somme des coûts du mode de transport principal et des modes terminaux utilisés à l'origine comme à destination. Les coûts de transport terminaux ont été établis pour chaque ville et pour chaque mode de transport principal ; c'est une moyenne pondérée en fonction de la distance et du mode terminal emprunté. Le coût du transport principal représente la moyenne du coût monétaire effectivement payé et tient compte naturellement d'un taux de réduction moyen obtenu sur chacun des modes mais également des différentes classes offertes. Pour l'automobile il s'agit d'un coût par mille que multiplie la distance, les auteurs ont cherché à se rapprocher du coût ressenti par l'usager divisé par le nombre moyen d'occupants, lequel varie selon le motif du voyage.

Le modèle consiste en deux ensembles de relations mathématiques, l'un des ensembles s'applique aux voyages d'affaires, l'autre aux

---

(1) Tous ces temps annexes ont été évalués de façon à obtenir une valeur moyenne pour chaque mode principal en tenant compte de la répartition entre les modes terminaux utilisés.

voyages pour convenances personnelles. Dans chaque ensemble on a établi une relation particulière pour chacun des quatre modes de transport : rail, autocar, air et automobile. Chaque relation se présente sous la forme suivante :

$$(III.29)\quad \text{Log } D_{ij}^{ms} = \text{Log } K_{ms} + n_{om}^{s} \text{ Log } N_i^s + n_{dm}^{s} \text{ Log } N_j^s + \sum_{q=R,B,A,C} p_{ms}^{q} \text{ Log } P_{ij}^{qs} + \sum t_{ms}^{q} \text{ Log } T_{ij}^{qs} + Y_{ms} \text{ Log } Y_i^s + a_{ms} \text{ Log } A_j^s$$

où D_{ij}^{ms} = nombre de voyages aller et retour de la ville i à la ville j par le mode m,

K_{ms} = constante pour le rapport de la demande de voyage par le mode m pour le motif s,

N_i^s = mesure de la population ou de l'emploi dans la ville origine i employée dans la relation de demande pour le motif de voyage s,

N_j^s = idem mais dans la ville de destination j,

n_{om}^{s} et n_{dm}^{s} = élasticité de la demande de voyages respectivement par rapport aux deux variables précédentes,

P_{ij}^{qs} = mesure du prix du voyage de la ville i à la ville j par le mode de transport q quand le voyage est fait pour le motif s,

P_{ij} = élasticité de la demande par rapport à la variable précédente,

T_{ij}^{qs} = mesure de la durée du transport pour les voyages de la ville i à la ville j par le mode de transport q pour le motif s,

t_{ms}^{q} = élasticité de la demande par rapport à la variable précédente,

Y_i = mesure du revenu pour la population de la ville i,

Y_{ms} = élasticité de la demande de voyage pour le mode de transport m pour le motif s concernant la mesure du revenu,

A_j^s = mesure de l'attractivité de la ville j pour le motif s,

a_{ms} = élasticité de la demande de voyage par le mode m pour le motif s concernant la mesure de l'attractivité de la ville de destination.

Toutefois au vu de défauts dans les premiers résultats ce modèle a du être modifié et en particulier en raison de multicolinéarité ou bien de signes d'élasticité en contradiction avec l'axiome 4.

Ce modèle a permis de montrer que les voyages d'affaires sont peu sensibles aux coûts du voyage, ceux pour convenances personnelles le sont à peine plus, sauf en ce qui concerne le transport ferroviaire qui seul est affecté d'un coefficient supérieur à l'unité. Par contre tous les voyages dans l'ensemble et ceux d'affaires plus spécialement se montrent beaucoup plus sensibles au temps de transport du mode utilisé. En

ce qui concerne les élasticités croisées, seule l'élasticité de la demande ferroviaire par rapport au prix de l'autocar est supérieure à l'unité pour les deux motifs. Pour le motif professionnel la demande de transport automobile apparaît sensible au coût ferroviaire et un peu moins au temps, les autres modes n'ayant aucune influence significative. En concentrant l'attention sur la concurrence rail-route seul le coût ferroviaire révèle une influence notable sur le trafic automobile mais uniquement pour les voyages d'affaires. Toutes les autres élasticités sont nulles ou inférieures à l'unité.

L'évident mérite de ce modèle est d'être le premier à analyser la demande globale à travers les demandes des divers modes ; ces dernières incorporent l'ensemble des caractéristiques du système de transport. Ce travail pionnier a souligné de nombreux problèmes pratiques auxquels se heurte le chercheur dans le domaine de la demande de transport de voyageurs et a orienté des recherches ultérieures, principalement sur les données à intégrer. Mais cette longue discussion des problèmes pratiques ne doit pas masquer l'insuffisance du support théorique de ce modèle dont le but simple était d'établir des élasticités de la demande destinées à servir de support à des prévisions. L'adoption d'un modèle à élasticité constante s'est faite uniquement pour des raisons de simplicité ; il est douteux que cette hypothèse, acceptable pour de petits changements dans les caractéristiques modales, permette de reproduire l'effet de grandes innovations technologiques (avion à décollage court, train à grande vitesse, ...). De surcroît, la structure du modèle fondée exclusivement sur les modes existants empêche d'incorporer de nouveaux modes potentiels, ce qui constitue une limite supplémentaire à la capacité de prévision de ce modèle et par suite à son efficience comme instrument d'une politique des transports. Dans l'intention d'éviter cet écueil, R.E. QUANDT et W.J. BAUMOL ont développé le concept théorique de "Mode abstrait" sur lequel s'appuie une série de modèles.

12 - Le modèle de demande non linéaire d'Anthony J. BLACKBURN (1)

Ce modèle part de la demande individuelle obtenue à partir de l'équilibre du consommateur. Celui-ci est censé rechercher le maximum d'une fonction d'utilité, non pas par rapport aux biens qu'il consomme, mais par rapport aux attributs qui caractérisent ces biens ; si on limite la fonction d'utilité aux activités de transport, ces attributs sont le temps de transport, la sécurité, le confort, le revenu après déduction des dépenses de transport. Une liaison technique lie chaque consommation d'attribut aux différents biens utilisés ; l'ensemble de ces liaisons constitue les contraintes du modèle. On peut dès lors formaliser le problème comme suit : l'équilibre du consommateur est obtenu lorsque la fonction

$$(III.30) \quad U\left(\zeta_1, \ldots, \zeta_n, y - \sum_{j=1}^{m} p_j x_j\right)$$

est maximum sous les contraintes :

---

(1) Anthony J. BLACKBURN : "A Non linear Model of the Demand for Travel", in R.E. QUANDT : "Demand for Travel : Theory and Measurement", op. cit. p. 163 à 179.

$$\zeta_i = \sum_{j=1}^{m} \alpha_{ij} x_j$$

où

ζ_i est le niveau de consommation du $i^{ème}$ attribut,

x_j est la demande du $j^{ème}$ bien "mode de transport" dans notre cas,

p_j est le coût du voyage par le $j^{ème}$ mode,

y est le revenu du consommateur,

α_{ij} est un coefficient technique qui lie le niveau de consommation du $i^{ème}$ attribut avec le $j^{ème}$ mode de transport. Par exemple si le $i^{ème}$ attribut est le temps de transport, α_{ij} correspond au temps de transport d'un voyage par le $j^{ème}$ mode.

A l'équilibre, si l'on considère une relation déterminée et si les différents modes sont parfaitement substituables sur cette relation, le mode choisi en une occasion doit être tel que la variation d'utilité qui en résulte soit supérieure à toute variation résultant du choix d'un autre mode. Soit :

(III.31)
$$\sum_{i=1}^{n} U_i \alpha_{ik} - U_{n+1} p_k \geq \sum_{i=1}^{n} U_i \alpha_{ij} - U_{n+1} p_j$$

où U_i est la dérivée partielle de la fonction U par rapport à son $i^{ème}$ argument.

En notant par w_i le taux marginal de substitution entre le revenu et le $i^{ème}$ attribut, la relation précédente s'écrit :

(III.32)

$$\sum_{i=1}^{n} w_i \alpha_{ik} + p_k \leq \sum_{i=1}^{n} w_i \alpha_{ij} + p_j$$

$$j = 1, 2, \ldots, m$$

L'expression à gauche de l'inégalité représente le coût généralisé du voyage par le mode k. L'inégalité signifie qu'un voyage sera accompli par le mode k si son coût généralisé est inférieur ou au plus égal au coût généralisé de chacun des autres modes.

Enfin l'équilibre du voyageur s'établit dès qu'un voyage supplémentaire fournit un accroissement de bien-être inférieur à son coût généralisé. A l'équilibre on a donc :

$$C_k = -w_1 (x_k)$$

où w_1 est le taux marginal de substitution entre l'argent et le voyage.

w_1 est une fonction croissante de x_k. En notant par Ψ la fonction inverse de $- w_1 (x_k)$, la demande individuelle pour le $k^{ème}$ mode devient :

$$x_k = \begin{cases} \Psi (C_k) \text{ lorsque } C_k \leq C_j & j = 1, 2, \ldots, m \\ 0 \text{ dans les autres cas} \end{cases}$$

L'objectif d'A.J. BLACKBURN étant de construire un modèle économétrique, il lui faut maintenant spécifier la fonction de demande et déterminer les différents attributs à partir desquels doit être établi le coût généralisé de chaque mode. Il considère deux groupes d'éléments dans la fonction de demande. Le premier rassemble ceux qui font résistance aux voyages : ils entrent dans la fonction de coût généralisé. A.J. BLACKBURN propose que la demande de transport décroisse exponentiellement par rapport au coût généralisé. Le second groupe est formé des éléments générateurs de voyages ; l'auteur a retenu la population, en supposant constante l'élasticité de la demande par rapport à cette variable et un facteur d'attraction propre à l'individu, supposé lié au revenu de la ville de destination par la relation :

(III.33) $v^* = \alpha_o \, v \, Y_d^{\alpha 2}$

Dans ces conditions la demande de voyages par le mode k à partir d'une origine o et pour une destination d s'écrit :

(III.34)
$$x_{odk} = \begin{cases} \alpha_o \, P_d^{\alpha 1} \, Y_d^{\alpha 2} \, ve^{-\alpha 3} \, C_{odk} & \text{lorsque } C_{odk} \leq C_{odj} \quad j=1,2,\ldots,m \\ 0 & \text{dans les autres cas} \end{cases}$$

où

P_d = population à la destination

Y_d = revenu à la destination

α_o, α_1, α_2 et α_3 sont des paramètres à estimer.

Dans la fonction de coût, il serait naturellement souhaitable d'introduire toutes les caractéristiques qui font qu'un voyage est différent si l'on change de mode de transport sur une relation déterminée. Mais les données disponibles limitent considérablement la généralité de la fonction dans ce domaine. A.J. BLACKBURN distingue les variables qui se modifient selon le mode et la relation (les différents temps et coûts de transport) et celles qui ne changent qu'avec le mode comme la sécurité, le confort, ... Pour ces dernières A.J. BLACKBURN pense qu'il n'est pas possible de déterminer statistiquement la contribution de chacune d'elles, c'est pourquoi il les rassemble en une variable unique spécifique de chaque mode. Le coût généralisé s'écrit alors :

(III.35) $C_{odk} = p_{odk} + w_1 \, t_{odk} + w_k$

où p_{odk} est le coût monétaire du voyage par le mode k,

w_1 est le taux d'échange entre l'argent et le temps de transport, ce taux est naturellement le même quel que soit le mode,

w_k est la variable spécifique de chaque mode.

La seconde étape de la construction du modèle vise à spécifier l'agrégation des demandes individuelles afin de déterminer la demande du marché. Il est évident que si tous les individus réagissaient de la même façon aux différents attributs, un seul mode de transport serait choisi sur une relation donnée. Il faut donc supposer que les goûts varient selon les individus, en conséquence les paramètres de la fonction individuelle peuvent être considérés comme des observations de variables aléatoires continues dont on pose que la distribution suit une loi normale.

L'espérance mathématique de demande individuelle s'écrit (1) :

$$(III.36) \quad E\left[x_{odk}\right] = \alpha_o P_d^{\alpha 1} Y_d^{\alpha 2} (2\pi)^{-3} \sum^{\frac{1}{2}} \underset{U \in R_k}{\iiint\iiint} e^{u_o - \alpha_3 (p_{odk} + e^{u1} + \mu_k)} e^{-\frac{1}{x2}(U-\mu)' \sum^{-1} (U-\mu)} dU + e_{odk}$$

où

U est le vecteur des six variables aléatoires,

μ est le vecteur des moyennes des six variables aléatoires,

$\sum$ est la matrice des variances - covariances,

e_{odk} le terme résiduel

R_k est défini par $C_{odk} \leqslant C_{odj} \quad j = 1, 2, \ldots, m$

Dans le cas où il y a quatre modes de transport il faudrait donc estimer outre α_o, α_1, α_2 et α_3, 6 moyennes, 6 variances, et 15 covariances. Un si grand nombre de paramètres à estimer paraît au-dessus des possibilités des données ; A.J. BLACKBURN pose quelques hypothèses destinées à en réduire sensiblement le nombre.

La demande individuelle complètement spécifiée, l'espérance mathématique de la demande du marché est égale au produit de l'espérance mathématique de la demande individuelle par le nombre d'habitants de la ville origine.

Le modèle requiert finalement l'estimation de dix-sept paramètres qu'A.J. BLACKBURN a effectuée par application directe de la méthode des moindres carrés. Mais la minimisation n'ayant pu se faire de façon analytique, elle a exigé une procédure itérative, l'algorithme de MARQUARDT (2). D'autre part cette estimation réclame l'évaluation d'une intégrale à six dimensions pour laquelle la méthode de Monte-Carlo a paru la plus appropriée. Mais, si ni la procédure de minimisation, ni l'évaluation de l'intégrale ne présentent de difficulté, il n'en va pas de même de leur conjonction.

---

(1) Cette expression s'applique au cas où il y a quatre modes.

(2) D.W. MARQUARDT : "An Algorithm for Least-Squares Estimation of Non-Linear Parameters", Journal of the Society of Industrial and Applied Mathematics, vol. II, n° 2, 1963, p. 431 à 441.

Ces difficultés n'ont cependant pas empêché A.J. BLACKBURN d'obtenir quelques résultats intéressants sur les données californiennes de 1960. Il confirme que l'élasticité de la demande par rapport à la population de la ville destination est proche de l'unité. Mais l'apport le plus spécifique de ce modèle est de fournir une mesure de l'attrait de chaque mode. Il ressort des résultats que l'avion serait en moyenne le moins attractif des modes, puis viendraient le train et l'autocar ; enfin l'automobile semble jouir d'une force attractive importante qui la distingue des autres modes.

2 - LES MODELES DIRECTS FONDES SUR LA NOTION DE MODE ABSTRAIT

21 - La notion de mode abstrait

La notion de mode abstrait est apparue dans la littérature économique des transports à la suite d'un article de Richard E. QUANDT et William J. BAUMOL (1) écrit dans le cadre des études de Mathematica. Le but de la nouvelle approche est de construire des modèles qui intègrent sans difficulté les nouveaux modes de transport susceptibles d'apparaître à la suite des progrès technologiques. QUANDT et BAUMOL dans leur analyse n'appellent plus les différents modes de transport par leur nom : train, voiture, avion, par exemple ; ils veulent que chaque mode soit uniquement caractérisé par le niveau de service qu'il fournit au voyageur, indépendamment de l'administration qui le gère et de la nature de l'infrastructure. Un mode abstrait se caractérise donc par un ensemble de variables qui affectent le désir d'utilisation de ce mode. Citons parmi ces caractéristiques : le confort, la vitesse, le coût, la sécurité, la fréquence de service, ... On peut dès lors, en faisant varier de manière continue chaque niveau de service, définir un ensemble continu de modes de transport. Bien sûr, écrivent les auteurs, peu correspondent à une réalité présente mais tous peuvent devenir une réalité future.

A des fins d'illustration, reprenons l'exemple de QUANDT et BAUMOL. Considérons les divers modes de transport A, B, C et D entre New-York et Princeton : on peut rassembler à l'aide d'un tableau leurs caractéristiques pour aller du centre d'une ville au centre de l'autre :

Mode	Temps du voyage en minutes	Coût approximatif du voyage en dollars	Nombre de départs quotidiens à partir de Princeton
A	70	23,00	10
B	80	4,50	17
C	90	2,80	39
D	80	5,40	Impossible à calculer

(1) Richard E. QUANDT and William J. BAUMOL : "The Demand for Abstract Modes : Theory and Measurement", Journal of Regional Science, vol. 6 n° 2, 1966, p. 13 à 26 reproduit dans R.E. QUANDT : "The Demand for Travel : Theory and Measurement", op. cit.

Le choix du mode de transport ne doit dépendre que des caractéristiques de chaque mode. Par exemple, ce qui importe n'est pas de prendre l'avion mais de savoir qu'il existe un mode de transport qui effectue le parcours New-York - Princeton en soixante dix minutes. Si un train effectuait le parcours en soixante dix minutes et si toutes les autres caractéristiques étaient identiques à celles de l'avion, alors les modes assureraient la même part de trafic. Avec la notion de mode abstrait, on suppose que l'individu est indifférent au fait de voyager par air ou sur rail.

Mais les auteurs font entrer un second élément dans la règle de choix de l'usager en faisant dépendre le choix du niveau relatif de chaque service par rapport au meilleur service, pris comme service de référence. A partir du premier tableau on établit un deuxième tableau qui donne le niveau relatif de performance d'un mode de transport par rapport au meilleur mode pour chaque caractéristique :

Date	Temps relatif de transport	Coût relatif de transport	Fréquence relative quotidienne
A	1	8,2	0,26
B	1,1	1,6	0,44
C	1,3	1,0	1,00
D	1,1	1,9	-

Le choix de l'individu ne dépend donc pas uniquement des performances absolues mais aussi des performances relatives ; c'est par le biais des performances relatives que l'on pourra faire intervenir de nouveaux modes de transport.

L'originalité principale de cette théorie consiste donc à définir un mode de transport par ses caractéristiques ; le nom du mode n'a plus aucune importance dans le choix du voyageur. Cela implique, selon la terminologie des auteurs, que les individus n'effectuent leur choix qu'en comparant les performances de chaque mode pour chaque caractéristique.

Selon ses auteurs cette nouvelle approche présente trois avantages :

- elle permet de prédire pour tous les modes qui existent l'effet de l'introduction d'un nouveau mode,

- l'introduction d'un nouveau mode se fait très simplement à l'aide de ses caractéristiques,

- la demande totale est fonction de toutes les alternatives possibles et théoriquement les modèles de mode abstrait doivent permettre de calculer séparément le trafic de diversion, c'est-à-dire le trafic pris sur les autres modes et le trafic induit, c'est-à-dire le trafic engendré par le nouveau mode.

Pour mettre en évidence ces avantages reprenons l'exemple cité par QUANDT et BAUMOL. On suppose qu'entre deux villes il existe trois modes de transport qui se caractérisent par deux types de performances : le temps et le coût de transport. Ces données sont rassemblées dans le

tableau suivant. A droite du tableau figurent les performances relatives de chacun des modes.

	Performances absolues des modes hypothétiques			Performances relatives des modes hypothétiques		
Mode	Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 1	Mode 2	Mode 3
Temps de transport	1	2	3	1	2	3
Coût de transport	5	3	2	2,5	1,5	1

On note par H_b et C_b respectivement le meilleur temps de transport et le coût le plus bas et par H_{rk} et C_{rk} le temps relatif de transport et le coût relatif par le mode k. On appelle T_k le trafic effectué entre les deux villes par le mode k et N le nombre de modes en service. On suppose que sur la base d'une information statistique suffisante, on a pu estimer la fonction suivante :

$$T_k = 1000 - 100\,H_b - 60\,C_b - 60\,H_{rk} - 50\,C_{rk} - 50\,N$$

On appelle M_i le volume de trafic prévu par l'équation pour un mode donné. On a alors pour les trois modes existants :

$M_1 = 445$
$M_2 = 435$
$M_3 = 400$
1 280

On considère maintenant l'introduction d'un quatrième mode de transport toujours hypothétique dont les caractéristiques sont 1,5 pour le temps de voyage et 1 pour le coût. Ceci modifie les valeurs de C_b et par conséquent toutes les valeurs de C_{rk}, k variant de 1 à 4 ; par contre les valeurs de H_b et de H_{rk} sont inchangées, seule apparaît H_{r4}. On applique la formule T_k à chacun des modes de transport et l'on obtient :

$M_1 = 330$
$M_2 = 370$
$M_3 = 360$
$M_4 = 500$
total 1 560

Il y a donc un accroissement prévu de 280 du trafic total mais l'introduction du mode, s'il a entraîné une induction de trafic, a également

fait diminuer le trafic de tous les modes existants.

Ainsi à l'aide de cet exemple hypothétique nous venons de montrer qu'un modèle de mode abstrait est susceptible de résoudre simultanément les problèmes de la génération et de la répartition du trafic. De plus l'introduction de nouveaux modes de transport se fait sans aucune difficulté. Cependant ces grandes facultés des modèles de mode abstrait n'existent qu'au prix d'hypothèses dont le réalisme est fort contestable.

C'est à travers l'hypothèse de neutralité modale que convergent toutes les critiques que nous adressons à la notion de mode abstrait. QUANDT et BAUMOL reconnaissent eux-mêmes que si la neutralité modale est très souhaitable sur le plan théorique, elle ne reflète qu'imparfaitement la réalité. Il est bien connu en effet que pour beaucoup de gens l'avion suscite encore une aversion. Pour éviter cet écueil ils proposent d'introduire une variable d'appoint ("dummy" variable), c'est-à-dire une variable qui prenne la valeur un ou zéro selon que le voyage s'effectue dans l'air ou sur terre. A notre avis il s'agit d'une solution contradictoire avec la notion de mode abstrait alors qu'il semble possible, du moins conceptuellement, d'incorporer un ou plusieurs indices de qualité qui caractériseraient la confiance ou l'aversion moyenne des gens pour chaque mode.

D'autre part cette approche conduit d'un point de vue théorique à des exigences structurelles inefficientes car irréalistes. John P. MAYBERRY (1) montre que, partant de la notion de mode abstrait, les modèles doivent répondre à un certain nombre d'exigences :

1 - La fonction de demande totale doit être invariante si l'on permute le nom des modes de transport.

2 - La fonction de demande du mode m doit être invariante sous chaque permutation des autres modes.

3 - Les fonctions de demande de chaque mode doivent toutes incorporer les mêmes caractéristiques.

De sorte qu'il suffit, lorsqu'on veut introduire un nouveau mode, d'affecter aux variables du modèle les valeurs correspondantes.

La simplicité de cette introduction inhérente à la notion de mode abstrait repose malheureusement sur l'hypothèse que les fonctions de demande sont identiques pour tous les modes de transport, hypothèse que malheureusement ni la réflexion théorique ni l'observation ne viennent étayer. Tant que les modèles de transport se borneront à incorporer seulement des variables de temps, de coût, ..., les plus aisément quantifiables et que les autres variables comme le confort, la disponibilité, ..., demeureront ignorées, ces modèles en resteront à considérer que du point de vue des variables qualitatives tous les modes sont identiques ; et ce d'autant plus que la forme de la fonction de demande sera la même pour chacun des modes. Or nous avons montré qu'en réalité ces variables difficilement quantifiables assurent souvent une grande part de la différenciation entre deux modes, ce qui est le cas du rail et de la route vue du moins sous l'angle individualiste de l'automobile.

En imposant une forme identique aux fonctions de demande, la notion de mode abstrait risque de conduire à des modèles encore moins

---

(1) John P. MAYBERRY, op. cit.

efficients que ceux qui ne connaissent pas cette exigence. Dans ces derniers en effet on pouvait admettre que des différences dans la forme de la fonction rendaient compte partiellement et implicitement de certaines différences impondérables. Toutefois la notion de mode abstrait paraît intéressante à un double point de vue, d'abord par l'introduction de la notion de performance relative dans les modèles économétriques et ensuite par l'effort de recherche sur la mesure de ces variables impondérables, effort qui n'apparaît malheureusement pas dans le premier modèle de mode abstrait.

22 - Les modèles économétriques de mode abstrait

Dans leurs premières versions, les modèles de "mode abstrait" font donc intervenir à côté des caractéristiques modales qui sont le temps, le coût et la fréquence, les variables socio-économiques classiques :

$$(III.37)\quad T_{ijk} = \alpha_0 P_i^{\alpha 1} P_j^{\alpha 2} Y_i^{\alpha 3} Y_j^{\alpha 4} M_i^{\alpha 5} M_j^{\alpha 6} N_{ij}^{\alpha 7} f_1(H) f_2(C) f_3(D)$$

où

$$f_1(H) = (H^b_{ij})^{\beta 0} (H^*_{kij})^{\beta 1}$$

$$f_2(C) = (C^b_{ij})^{\gamma 0} (C^*_{kij})^{\gamma 1}$$

$$f_3(D) = (D^b_{ij})^{\delta 0} (D^*_{kij})^{\delta 1}$$

où

P_i, P_j, Y_i, Y_j, M_i et M_j sont respectivement la population, le revenu moyen, le nombre moyen de dépôts bancaires en i et j.

N_{ij} est le nombre de modes sur la relation.

H^b_{ij}, C^b_{ij} et D^b_{ij} sont respectivement le meilleur temps, le meilleur coût et la meilleure fréquence sur la relation.

H^*_{ijk}, C^*_{ijk} et D^*_{ijk} sont respectivement le temps, le coût et la fréquence du mode k par rapport aux meilleurs temps, coût et fréquence.

Cependant rien ne garantit que ce modèle conduise à des résultats en accord avec les axiomes énoncés précédemment. R.E. QUANDT et W.J. BAUMOL recherchent les conditions requises et établissent les contraintes que doivent respecter les coefficients. Il en ressort que la sensibilité à la variable relative doit être plus élevée que la sensibilité à la meilleure variable, ce que confirment les résultats de la Californie et du Corridor Nord-Est.

De ces premiers résultats il apparaît que seule la population est affectée d'un coefficient significatif parmi les variables socio-économiques. Comme dans le modèle de la SARC, les coefficients de la ville origine et de la ville destination sont proches de l'unité mais inférieurs ; par la suite ils seront regroupés.

A la suite de cet article une série de modèles a été testée et analysée par l'équipe de Mathematica. L'effort a porté tant sur la forme analytique que sur les méthodes d'estimation. Kan Hua YOUNG, associé à R.E. QUANDT, a testé une série de modèles en employant diverses méthodes d'ajustements sur les données du Corridor Nord-Est et de la Californie. L'apport le plus important de cette recherche réside sans conteste dans l'estimation de caractéristiques propres à chaque relation (1). Le principe en est assez simple, le terme d'erreur aléatoire est décomposé en deux éléments indépendants :

$$U_{ijk} = \varepsilon_{ijk} + V_{ijk}$$

Le premier de ces éléments ε_{ijk} est censé reproduire la caractéristique de la liaison, le second V_{ijk} est l'erreur aléatoire. Cette hypothèse implique l'application de la méthode des moindres carrés généralisés. Les résultats sont assez encourageants puisque globalement ils sont meilleurs que lors de l'emploi des moindres carrés simples. Pour chaque relation on obtient un coefficient caractéristique que notre méconnaissance du marché américain ne permet pas d'analyser.

Les efforts ont ensuite porté sur la fonction de demande. Kan YOUNG propose d'ajouter un ensemble de variables définies chacune par le rapport de la caractéristique du mode qui lui est le plus proche mais moins favorable (2). Testé sur deux ensembles de données, ce modèle ne fournit des résultats satisfaisants que sur celles du Corridor Nord-Est. Un autre type de modifications est apporté pour tenir compte de la concurrence entre les diverses destinations mais la pauvreté des résultats n'encourage pas à poursuivre dans cette voie.

Dans une recherche plus récente, Kan YOUNG distingue dans la fonction de demande un terme non-concurrentiel et un terme concurrentiel (3). Pour exprimer le volume de trafic du mode k, il propose le modèle économétrique suivant :

$$(III.38) \quad T_{ijk} = K\, f_k(.)\, g_k(.)$$

où

$$K = e^{\alpha 0} (P_i\, P_j)^{\alpha 1} (Y_i\, Y_j)^{\alpha 2}$$

$f_k(.)$ est le terme non concurrentiel, en ce sens qu'il n'incorpore que les caractéristiques du mode k,

$g_k(.)$ est le terme concurrentiel ; il incorpore diverses variables des autres modes.

---

(1) Richard E. QUANDT et Kan H. YOUNG : "Cross-Sectional Travel Demand Models : Estimates and Tests", Studies in Travel Demand, vol. III, chap.2, Mathematica, 1967. Une version révisée est parue in Journal of Regional Science, vol. 9, n° 2, 1969 p. 201 à 214, reproduite dans R.E. QUANDT : "The Demand for Travel : Theory and Measurement" op. cit.

(2) Kan Hua YOUNG : "The Abstract Mode Travel Demand Models : Estimation and Forecasting", Studies in Travel Demand, vol. IV, chap. I, Mathematica, août 1968.

(3) Kan Hua YOUNG : "An Abstract Model Approach to the Demand for Travel", Studies in Travel Demand, vol. V, chap. I, Mathematica, mars 1969.

La première version log-linéaire a pour originalité de faire dépendre les coefficients des différentes variables du niveau de revenu. Le nombre trop important de paramètres a contraint à poser deux hypothèses : dans un premier cas, les élasticités-revenu sont différentes selon la relation et le mode ; dans le second, elles sont identiques pour tous les modes d'une même relation, mais différentes selon la relation. D'un point de vue théorique la première hypothèse par sa généralité est préférable mais les résultats ne lui confèrent pas de supériorité.

Au cours de l'estimation trois spécifications du terme concurrentiel ont été testées. D'abord, conformément au modèle initial de QUANDT et BAUMOL, YOUNG introduit les caractéristiques les plus performantes. Ensuite, il leur substitue la moyenne géométrique des caractéristiques plus performantes que celles du mode k. Enfin il incorpore la moyenne géométrique des caractéristiques de tous les autres modes. La troisième solution fournit les meilleurs résultats puisque les coefficients respectent dans ce seul cas les axiomes énoncés.

23 - Intérêt et limite des modèles de mode abstrait

Sur le plan théorique la notion de mode abstrait marque un incontestable progrès sur le modèle de la SARC. Conceptuellement elle résout le problème de l'introduction de nouveaux modes mais d'un point de vue pratique son introduction n'est pas si simple. En effet si l'on peut considérer les variables modales, le temps, le coût et la fréquence, comme des variables abstraites, les paramètres estimés correspondent à une réalité définie par les modes existants et rien ne permet d'affirmer que ces coefficients soient applicables à une situation radicalement différente. Cette critique rejoint celle adressée au modèle de la SARC qui considère, comme la plupart des modèles de mode abstrait, que les élasticités sont constantes.

Deux suggestions ont été faites, susceptibles de réduire cet inconvénient. T.F. COOLEY (1) propose de reformuler la structure concurrentielle de telle sorte qu'un nouveau mode serait considéré comme disponible mais à prix infini. L'idée intéressante en elle-même paraît délicate à mettre en pratique. L'autre possibilité envisagée par YOUNG traite le nouveau mode comme une partie du mode qui lui est le plus proche. L'avantage évident de cette solution est que le nombre de modes est le même pour l'estimation et la prévision mais son inconvénient est de fournir un volume agrégé dans lequel il sera difficile d'attribuer leurs parts à l'ancien et au nouveau mode.

Enfin la solution proposée par YOUNG qui se révèle la plus satisfaisante pour intégrer le terme concurrentiel, pose un problème théorique au regard de la notion de mode abstrait. En effet dans cette optique le modèle devrait être valable pour tous les modes donc, a fortiori pour des modes existants et à la limite pour le vélomoteur ou même la marche à pied. Or l'introduction des caractéristiques de tels modes

---

(1) T.F. COOLEY : "Forecasting the Demand for Travel in the Northeast-Corridor : an Overview", prepared for the Northeast-Corridor Passenger Project, U.S. Department of Transportation, Washington, 1969, p. 17.

pèserait lourdement sur la moyenne ; seule une moyenne pondérée par les flux de trafic est acceptable d'un point de vue théorique pour représenter l'impédance de la liaison. La solution adoptée par YOUNG, en se limitant aux modes dont les flux de trafic ne sont pas négligeables, évite cet écueil d'un point de vue pratique, mais ne résout pas la difficulté conceptuelle. En outre, cette structure est inapte à la prévision puisque l'introduction d'un nouveau mode, dont les performances seraient inférieures aux moyennes géométriques, conduirait normalement à une réduction du trafic, résultat en totale contradiction avec les axiomes énoncés.

Finalement, critiquable d'un point de vue théorique, la notion de mode abstrait conduit à des modèles guère plus efficients que celui de la SARC. Même si les coefficients des caractéristiques modales ont des signes en accord avec les axiomes, une part non négligeable des voyages reste inexpliquée par les modèles. Leur structure qui à l'origine ne distingue pas dans la génération de trafic et son affectation deux aspects séparés, quoique fortement intriqués, de la demande de transport, aboutit à une représentation tronquée de cette demande. A cette insuffisance répondent les modèles à répartition modale intégrée.

3 - LES MODELES A REPARTITION MODALE INTEGREE

La recherche la plus originale en ce domaine est le modèle de Mc LYNN qui insiste sur les propriétés de la demande globale. Dans un esprit très voisin Solita MONSOD met l'accent sur l'interdépendance de la génération de trafic et de la répartition modale.

31 - Le modèle de Mc LYNN (1)

Pour spécifier son modèle Mc LYNN part de considérations qui généralisent le modèle gravitaire. La demande globale de transport sur une relation est le résultat de l'action de variables qui jouent dans un sens favorable au développement du transport, ce sont les variables socio-économiques du modèle gravitaire, et de variables freinant ce développement qui représentent l'impédance de la relation. Celle-ci est fonction de l'impédance de chaque mode. Mais les termes de l'impédance modale sont les mêmes que ceux de l'utilité modale : les caractéristiques des modes. L'auteur propose une formulation en termes d'utilité modale mesurée par ω_k que l'on définit à partir du modèle de répartition modale (2).

(III.39)
$$\omega_k = \frac{\omega_k}{\sum_{k=1}^{m} \omega_k}$$

---

(1) J.M. Mc LYNN et T. WORONKA, op. cit. chapitre IV.

(2) Cf. § 2, Section I.

Il pose que l'impédance de la relation est fonction inverse d'une fonction des utilités modales. En appelant E l'ensemble des variables socio-économiques du modèle gravitaire, U la fonction d'impédance de la relation et G une fonction de l'utilité des modes de transport, la demande globale D s'exprime ainsi :

(III.40)
$$D = \frac{E}{U\,(U_1, \ldots, u_m)} = E \quad G\,(\omega_1, \ldots, \omega_m)$$

Mc LYNN, conformément aux axiomes énoncés, impose que la demande soit toujours positive et qu'elle ne diminue pas à la suite d'une amélioration d'un quelconque des modes. En supposant que D et G sont des fonctions continues, il s'ensuit que :

$$\frac{\partial D}{\partial \omega_k} \geq 0 \quad \text{implique} \quad \frac{\partial G}{\partial \omega_k} \geq 0$$

Mc LYNN émet ensuite un certain nombre d'hypothèses qui vont lui permettre de spécifier complètement la fonction de demande globale. D'abord l'accroissement de la demande ne doit pas uniquement dépendre d'une amélioration modale, mais aussi du niveau de la demande précédant l'amélioration. Cette condition s'exprime par :

(III.41) $$\frac{\partial D}{\partial \omega_k} = D\, f(\omega_k)$$

où

$f(\omega_k)$ est une fonction non négative de ω_k. Il s'ensuit :

$$\frac{\partial G}{\partial \omega_k} = G\, f(\omega_k)$$

Puisque G est fonction du seul indice d'utilité ω_k, on a :

$$dG = \sum_{k=1}^{m} \frac{\partial G}{\partial \omega_k}\, d\omega_k$$

On reconnaît dans cette expression la dérivée logarithmique de G :

$$G = c\, e^{\sum_{k=1}^{m} F(\omega_k)}$$

où $F(\omega_k)$ est l'intégrale de $f(\omega_k)$

La demande globale s'exprime alors par :

(III.42)
$$D = E\, c \prod_{k=1}^{m} e^{F(\omega_k)}$$

Cette demande doit être telle que l'adjonction d'un nouveau mode de transport, dont l'indice d'utilité est ω_{m+1}, accroisse la demande. Soit D' cette nouvelle demande, on doit avoir :

(III.43) $$D' = D\, e^{F(\omega_{m+1})} \quad \text{avec } D' \geq D$$

ce qui implique $F(\omega_{m+1}) \geq 0$

Enfin, Mc LYNN assigne deux dernières conditions à la demande globale de transport. D'une part un mode à faible utilité aura une influence faible ou nulle sur le marché, ce qui s'exprime par :

$$\lim_{\omega \to 0} F(\omega) = 0$$

D'autre part l'utilité aura une influence d'autant moins élevée que l'utilité initiale sera faible :

$$\lim_{\omega \to 0} f(\omega) = 0$$

Pour satisfaire ces diverses conditions, Mc LYNN propose que $F(\omega)$ soit de la forme suivante :

(III.44) $$F(\omega) = \lambda\, \omega^{\tau+1}$$

où τ est un coefficient compris entre 0 et 1 ;

la demande globale devient :

(III.45) $$D = E\, e^{\lambda \sum_{k=1}^{m} \omega_k^{\tau+1}}$$

La fonction d'impédance est maintenant parfaitement spécifiée :

(III.46) $$u = \prod_{k=1}^{m} u_k$$

avec $$u_k = \frac{1}{e^{\lambda \omega^{\tau+1}}} = e^{-\lambda \omega^{\tau+1}}$$

Cette relation satisfait bien l'exigence théorique qu'une amélioration de l'utilité entraîne une réduction de l'impédance :

$$\frac{\partial U_k}{\partial \omega_k} \leq 0$$

La demande pour chaque mode s'écrit :

(III.47) $$D_k = E\, e^{\lambda \sum_{k=1}^{m} \omega_k^{\tau+1}} \frac{\omega_k}{\sum_{k=1}^{m} \omega_k}$$

Présenté sous cette forme le modèle s'avère trop sensible à l'introduction d'un nouveau mode ; dans ce cas en effet la demande

globale s'écrit :

$$D' = E\, e^{\lambda \sum_{k=1}^{m} \omega_k^{\tau+1} + \omega_{m+1}^{\tau+1}}$$

soit :

(III.48)
$$D' = D \left[e^{\lambda\, \omega_{m+1}^{\tau+1}} - 1 \right]$$

On remarque que la demande induite par l'introduction du nouveau mode croîtrait de façon exponentielle. Pour éviter ce défaut l'auteur propose l'expression suivante pour la demande :

(III.49)
$$D = E \left[\sum_{k=1}^{m} \omega_k \right]^{\alpha}$$

Alors la nouvelle demande à la suite de l'introduction d'un nouveau mode s'écrit :

(III.50)
$$D' = D \left[1 + \left[\frac{\omega_k}{\sum_{k=1}^{m} \omega_k} \right] \right]^{\alpha}$$

On remarque que la demande induite dépend de la seule capacité attractive du mode m + 1 en référence à la capacité attractive de tous les autres modes. D'un point de vue théorique, cette expression est beaucoup plus satisfaisante que celles proposées par Kan YOUNG ou WALMSLEY et WIGAN.

Ce modèle a été utilisé dans le Corridor Nord-Est conjointement au modèle de répartition. Ce dernier permet d'obtenir les indices d'utilité indispensables au modèle de demande globale :

$\omega_{avion} = e^{-4,4692}\ (T)^{-0,3319}\ (C)^{-0,7319}\ (\frac{1}{F'})^{-1,2426}$

$\omega_{train} = e^{-1,9995}\ (T)^{-1,1973}\ (C)^{-0,7319}\ (\frac{1}{F'})^{-4,1717}$

$\omega_{autocar} = e^{-1,1254}\ (T)^{-2,1522}\ (C)^{-0,7319}\ (\frac{1}{F'})^{-0,7802}$

$\omega_{automobile} = (T)^{-2,0527}\ (C)^{-1,1135}$

$R^2 = 0,90$

où T est le temps du mode exprimé en heure
C est le coût du mode exprimé en dollar
$F' = 1-e^{KF}$, F étant la fréquence

A partir du modèle de répartition la demande globale est calculée en introduisant dans le terme socio-économique le revenu moyen par tête et le nombre de familles dont le revenu dépasse 10 000 dollars.

$$D = e^{13,631} \left[\frac{Y_i}{10^3} \frac{Y_j}{10^3}\right]^{0,954} \left[\frac{F_i}{10^5} \frac{F_j}{10^5}\right]^{0,793} \left[\sum_{k=1} \omega_k\right]^{0,465}$$

$R^2 = 0,96$

où F_i et F_j représentent respectivement en i et j le nombre de familles dont le revenu dépasse 10 000 dollars.

Sur deux relations l'erreur relative est inférieure à 0,005 %, sur sept relations elle est inférieure ou égale à 10 % ; par contre elle dépasse 30 % sur quatre relations. Dans l'ensemble la précision est assez faible et il apparaît que le modèle n'est pas assez performant pour servir d'instrument de calcul de prévision. Néanmoins, il faut reconnaître à Mc LYNN et à son équipe le mérite d'être les premiers à fournir un modèle complet dont les résultats ont été confrontés aux observations.

32 - Le modèle de Solita MONSOD (1)

Solita MONSOD a abandonné le modèle de génération que nous avons présenté pour une version comportant un facteur d'impédance lié au système de transport assez voisin de celui du modèle de Mc LYNN :

$$(III.51) \quad T_{ij} = e^{\beta_0} (P_i P_j)^{\beta_1} (\bar{Y}_{ij})^{\beta_2} \left[\sum_k (C_k^{\alpha_1} H_k^{\alpha_2} D_k^{\alpha_3})\right]^{\beta_3} V_{ij}^{\beta_4}$$

où

P_i, P_j, $\bar{Y}_{ij}$ sont les variables socio-économiques bien connues du modèle gravitaire,

C_k, H_k, D_k sont respectivement le coût, le temps et la fréquence du mode k sur la relation,

$\Sigma (C_k^{\alpha_1} H_k^{\alpha_2} D_k^{\alpha_3})$ est l'impédance de la relation,

V_{ij} est un indice culturel d'attraction entre les deux villes.

Le remplacement de la distance par le terme d'impédance est bénéfique : le R^2 passe de 0,87 à 0,94. Ce modèle ne peut être estimé qu'après la détermination des paramètres α_1, α_2, α_3 du modèle d'affectation présenté antérieurement :

$$(III.52) \quad \frac{T_{ijk}}{T_{ijr}} = e^{\alpha_0} \left[\frac{C_{ijk}}{C_{ijr}}\right]^{\alpha_1} \left[\frac{H_{ijk}}{H_{ijr}}\right]^{\alpha_2} \left[\frac{D_{ijk}}{D_{ijr}}\right]^{\alpha_3} (\bar{Y}_{ij})^{\alpha_4}$$

---

(1) Solita C. MONSOD : "Further Development in the Cross-Sectional Rail Passenger Model", Studies in Travel Demand, vol. III, Mathematica, juillet 1967.
"Tests and Revisions of the Relative Shares Models", Studies in Travel Demand, vol. IV, chap. II, Mathematica, août 1968.
"The Relative Shares Model", Studies in Travel Demand, vol. V, chap. II, Mathematica, mai 1969.

Comme dans le modèle de Mc LYNN, il faut qu'il y ait un mode de référence, mais à la différence de ce dernier, la forme analytique adoptée par Solita MONSOD revient à traiter le mode de référence de façon différente des autres modes. En effet le modèle d'affectation associé à la contrainte qui impose que le volume total du trafic soit égal à la somme des trafics de chaque mode y compris le mode de référence :

$$T = T_r + \sum_{k=1}^{m-1} T_k \qquad (III.53)$$

conduit aux expressions suivantes :

$$T_k = \frac{e^{\alpha_0}\, \bar{Y}^{\alpha_4}\, C_k^{\alpha_1}\, H_k^{\alpha_2}\, D_k^{\alpha_3}\, T}{(C_r^{\alpha_1}\, H_r^{\alpha_2}\, D_r^{\alpha_3}) + e^{\alpha_0}\, \bar{Y}^{\alpha_4}\, [C_1^{\alpha_1}\, H_1^{\alpha_2}\, D_1^{\alpha_3} + \ldots + C_{m-1}^{\alpha_1}\, H_{m-1}^{\alpha_2}\, D_{m-1}^{\alpha_3}]} \qquad (III.54)$$

$$T_r = \frac{C_r^{\alpha_1}\, H_r^{\alpha_2}\, D_r^{\alpha_3}\, T}{(C_r^{\alpha_1}\, H_r^{\alpha_2}\, D_r^{\alpha_3}) + e^{\alpha_0}\, \bar{Y}^{\alpha_4}\, [C_1^{\alpha_1}\, H_1^{\alpha_2}\, D_1^{\alpha_3} + \ldots + C_{m-1}^{\alpha_1}\, H_{m-1}^{\alpha_2}\, D_{m-1}^{\alpha_3}]} \qquad (III.55)$$

On remarque que la différence est égale au produit $e^{\alpha_0}\, \bar{Y}^{\alpha_4}$. Ce n'est que lorsque ce produit est égal à l'unité que les modes sont traités de façon identique. Dans une estimation, $\bar{Y}^{\alpha_4}$ a été supprimé, ce qui a amélioré considérablement les résultats. Par contre l'élimination de e^{α_0} a eu l'effet contraire. Sur cette base empirique, il apparaît que le revenu doit être supprimé de l'équation d'affectation mais non le terme constant dont la présence paraît moins gênante conceptuellement ; ce terme peut représenter le "bonus" ou le "malus" accordé au mode de référence.

Le modèle de Solita MONSOD comme celui de Mac LYNN consiste en deux équations clairement reliées. Il est naturellement possible d'estimer les paramètres de α_0, α_1, α_2, α_3 et α_4 de façon indépendante du trafic global et de les introduire ensuite. Mais parallèlement à cette procédure classique l'auteur a développé une procédure destinée à mieux restituer l'interdépendance des deux phénomènes (1). Elle parvient ainsi à une expression du trafic ferroviaire qui tient compte explicitement de l'erreur des deux modèles initiaux. Cette procédure, malgré son avantage conceptuel ne fournit guère de meilleurs résultats.

Poursuivant le même but R. KU et K. YOUNG proposent des modèles dont la formulation mathématique est plus complexe mais qui n'en sont pas plus efficients pour autant. Pas plus que Solita MONSOD ils ne dressent de comparaison entre les trafics observés et prévus. Disposer d'élasticités aux signes convenables est le garant de la cohérence logique du modèle mais ne garantit aucunement ses capacités d'explication et de prévision.

---

(1) Pour une analyse détaillée de cette procédure, cf. Solita MONSOD (1967), op. cit. p. 160 à 167.

CHAPITRE IV

LES MODÈLES DÉSAGRÉGÉS

La seconde approche économétrique du choix modal part des choix individuels : l'information de base n'est plus le flux de trafic ni sa répartition modale mais le comportement du voyageur. Le but est de déterminer une probabilité de choix en fonction des caractéristiques de l'individu, de son voyage et de l'offre de transport. A la différence des modèles agrégés aucune contrainte n'est imposée, il s'agit au contraire d'observer à quelle cohérence répond le comportement transcrit par le modèle.

D'un point de vue statistique on souhaite disposer d'un instrument qui permette d'affecter à un individu caractérisé par un vecteur x une probabilité qui soit la plus proche possible de la fréquence observée des individus caractérisés par ce même vecteur. Le problème peut également se formuler comme la recherche de la fonction qui permet de classer le mieux les individus entre les divers modes de transport.

Deux hypothèses peuvent être avancées concernant le vecteur x. La première suppose qu'il n'existe qu'une seule fonction de densité, il existe alors pour chaque individu une valeur d'indifférence telle qu'en deçà il appartient au groupe qui emprunte le mode 1 et au-delà au groupe qui emprunte le mode 2 : c'est l'hypothèse fondamentale qui est à la base de l'analyse probit. La seconde hypothèse suppose que le vecteur x est distribué de manière différente dans la population selon que l'individu a choisi le mode 1 ou le mode 2 : le problème est de trouver la fonction qui répartira le plus exactement ces deux sous-populations ; cette approche conduit à l'analyse discriminante.

L'analyse discriminante ainsi que l'analyse probit, sous certaines hypothèses de distribution du vecteur x, conduisent à une probabilité de choix de forme sigmoïde (1) ; cette propriété a incité des auteurs à construire une nouvelle analyse, dont l'hypothèse fondamentale est de postuler une probabilité sigmoïde ; en ce cas la fonction logistique est apparue la plus appropriée : cette troisième analyse est couramment appelée analyse logit.

Jusqu'alors la plupart des études utilisant ces différentes analyses sont restées dans le cadre des transports intra-urbains. Plutôt que de reprendre une à une ces études, il semble préférable de faire le

---

(1) En forme de S aplati.

point sur ces différentes analyses. Rappelons cependant que S.L. WARNER (1) a été le premier à utiliser un modèle désagrégé fondé sur l'analyse discriminante et l'analyse logit, alors que T.E. LISCO (2) a été le premier à appliquer l'analyse probit. Depuis ces trois analyses ont connu un certain succès dans le domaine des transports (3). Citons en particulier les travaux de Peter R. STOPHER et de John O. LAVENDER (4) qui les premiers ont cherché à les comparer.

---

(1) Stanley L. WARNER "Stochastic Choice of Mode in Urban Travel : A Study in Binary Choice", Northwestern University Press, Evanston, 1962.

(2) Thomas E. LISCO "The Value of Commuters' Travel Time : A Study in Urban Transportation", Ph. D. Thesis, Université de Chicago - juin 1967, 92 pages.

(3) . Parmi les applications de l'analyse discriminante citons :

D.A. QUARMBY : "Factors affecting Commuter Travel Behaviour", Ph. D. Thesis, Université de Leeds, 1966, dont l'essentiel est repris dans l'article : "Choice of Travel Mode for the Journey to Work : some Findings", Journal of Transport Economics and Policy, vol. 1, n° 3, 1967, p. 273 à 314.

R.G. Mac GILLIVRAY : "Binary Choice of Transport Mode in the San Francisco Aera", Ph. D. Thesis Stanford of Research Institute, Université de Californie, 1970, 41 pages dont l'essentiel est repris dans l'article "Demand and Choice Models of Modal Split : Journal of Transport Economics and Policy, vol. 4, n° 2, 1970, p. 192 à 207.

Michel GENSOLEN et Philippe ROCHEFORT : "Modèles de choix binaires", Mémoire de DES, Université de Paris, 1969, 2 vol. 47 pages et 80 pages.

IAURP : "Analyse du choix du mode de transport par les usagers en région parisienne", Cahiers de l'IAURP, vol. 17-18, n° 2, Paris, 1969.

K.G. ROGERS, Gillian M. TOWNSEND and A.E. METCALF "Planning for the Work Journey : A generalised Explanation of Modal Choice", Local Government Operational Research Unit, Londres, 1970, 97 pages.

. Parmi les applications de l'analyse logit :

Peter R. STOPHER "A Probability Model of Travel Mode Choice for the Work Journey" Highway Research Record, n° 283, 1969, p. 57 à 65.

F.X. De DONNEA "The Determinants of Transport Mode Choice in Dutch Cities : some disaggregate stochastic models", Rotterdam University Press, 1971, 230 pages.

Michael J. DEMETSKY et Lester A. HOEL "Modal Demand : A User Perception Model", Transportation Research, vol. 6, n° 4, déc. 1972, pages 293-308.

. Parmi les applications de l'analyse probit :

C.A. LAVE "Modal Choice in Urban Transportation : A Behavioral Approach" Ph. D. Thesis, Stanford of Research Institute, Université de Californie, 1968.

F.X. De DONNEA, op. cit.

(4) Peter R. STOPHER et John O. LAVENDER "Disaggregate, Behavioral Travel Demand Models : Empirical Tests of three Hypotheses" Transportation Research Forum.

I - TROIS MÉTHODES D'ANALYSE DES MODÈLES DÉSAGRÉGÉS

1 - L'ANALYSE DISCRIMINANTE

Dans l'analyse discriminante, on considère qu'une population P se divise en deux sous-populations différentes P_1 et P_2 parce qu'il existe deux comportements différents vis-à-vis de la variable à expliquer. Prenons, par exemple, la population des personnes qui voyagent par le train et par la route ; l'analyse discriminante suppose que les personnes ayant choisi le train et celles ayant choisi la voiture forment deux populations différentes. Cela signifie en particulier que le vecteur x des variables explicatives n'a pas la même distribution dans les deux populations. On suppose de plus que cette distribution des variables explicatives est unique.

D'une manière générale l'analyse discriminante consiste à rechercher une fonction qui permette par la connaissance que l'on a du vecteur x, d'améliorer la probabilité a priori que l'observation caractérisée par le vecteur x a d'appartenir à l'une ou l'autre des sous-populations. La fonction discriminante apparaît comme l'instrument d'une règle de décision qui indique les valeurs des variables explicatives pour lesquelles une nouvelle observation dont le choix est inconnu doit être classée comme provenant de la sous-population P_1, sinon on la classe comme provenant de la sous-population P_2. Sous certaines hypothèses cette règle conduit à rechercher la fonction qui maximise la distance entre les deux sous-populations.

Considérons une population P que l'on divise en deux sous-populations P_1 et P_2. On prélève un échantillon dans lequel on observe N_1 observations provenant de P_1 et N_2 observations provenant de P_2. Supposons que l'on connaisse les densités de probabilité des caractéristiques des individus de chaque sous-population respectivement $f_1(x)$ et $f_2(x)$, la probabilité pour qu'un individu appartienne à la sous-population P_1 sachant qu'il est caractérisé par le vecteur x s'écrit en appliquant le théorème de BAYES :

$$\frac{q_1 f_1(x)}{q_1 f_1(x) + q_2 f_2(x)} = \frac{1}{1 + \dfrac{q_2 f_2(x)}{q_1 f_1(x)}} \quad \text{où} \begin{cases} q_1 = \dfrac{N_1}{N_1 + N_2} \\ q_2 = \dfrac{N_2}{N_1 + N_2} \end{cases}$$

Pour déterminer cette probabilité il faut connaître les probabilités a priori et la loi de probabilité du vecteur x. En supposant que ce vecteur soit distribué suivant une loi normale, que la matrice des variances -covariances soit la même dans les deux sous-populations, cette probabilité peut s'écrire en appelant Σ cette matrice et μ_1 et μ_2 les vecteurs moyens dans chaque sous-population :

(IV.1)
$$P\left[X \in I\right] = \frac{\exp\left[X'\Sigma^{-1}(\mu_1 - \mu_2) - \frac{1}{2}(\mu_1 + \mu_2)'\Sigma^{-1}(\mu_1 - \mu_2)\right]}{1 + \exp\left[X'\Sigma^{-1}(\mu_1 - \mu_2) - \frac{1}{2}(\mu_1 + \mu_2)'\Sigma^{-1}(\mu_1 - \mu_2)\right]}$$

où $L = \frac{f_1(x)}{f_2(x)} = \exp\left[-X'\ \Sigma^{-1}(\mu_1 - \mu_2) - \frac{1}{2}(\mu_2' + \mu_1')\,\Sigma^{-1}(\mu_2 - \mu_1)\right]$

expression que l'on peut encore écrire :

(IV.2)
$$P\left[X \in I\right] = \frac{\exp\left[X'a + b\right]}{1 + \exp\left[X'a + b\right]} = \frac{\exp L}{1 + \exp L}$$

où $a = \Sigma^{-1}(\mu_1 - \mu_2)$

$$b = -\frac{1}{2}(\mu_1 + \mu_2)'\,\Sigma^{-1}(\mu_1 - \mu_2)$$

Soit k le nombre de composantes du vecteur x, on recherche alors une partition de l'espace à k dimensions en deux régions distinctes R_1 et R_2 qui minimisent les erreurs de classifications en affectant à chacune d'elles les coûts respectifs suivants :

C (2/1) classer en P_2 une observation de P_1

C (1/2) classer en P_1 une observation de P_2

Il existe une procédure optimale de classification qui définit ainsi les régions R_1 et R_2

(IV.3)
$$R_1 : \frac{f_1(x)}{f_2(x)} \geq \frac{C(1/2)\,q_2}{C(2/1)\,q_1} \qquad R_2 : \frac{f_1(x)}{f_2(x)} < \frac{C(1/2)\,q_2}{C(2/1)\,q_1}$$

Sous les hypothèses précédemment définies la règle de décision peut s'écrire :

$$X \in P_1 \text{ si } \exp(L) \geq \frac{C(1/2)\,q_2}{C(2/1)\,q_1}$$

$$X \in P_2 \text{ si } \exp(L) < \frac{C(1/2)\,q_2}{C(2/1)\,q_1}$$

En prenant les logarithmes, on obtient :

$$X \in P_1 \text{ si } L \geq \text{Log}\,\frac{C(1/2)\,q_2}{C(2/1)\,q_1} = L^*$$

$$X \in P_2 \text{ si } L < \text{Log}\,\frac{C(1/2)\,q_2}{C(2/1)\,q_1} = L^*$$

Or par l'intermédiaire de x L est une variable aléatoire dont la variance est :

(IV.4) $\quad \text{Var } L = (\mu_1 - \mu_2)' \, \Sigma^{-1} \, (\mu_1 - \mu_2) = \alpha$

α représente la distance entre $N(\mu_1, \Sigma)$ et $N(\mu_2, \Sigma)$ que l'on appelle encore distance de MAHALANOBIS.

L est distribuée suivant une loi normale de moyenne $\frac{\alpha}{2}$ et de variance α quand x appartient à P_1 et de moyenne $-\frac{\alpha}{2}$ quand x appartient à P_2. La probabilité d'erreur de classification d'une observation provenant de P_1 peut s'écrire :

(IV.5)

$$P(2/1) = \int_{-\infty}^{\frac{L^* - \frac{1}{2}\alpha}{\sqrt{\alpha}}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}y^2} \, dy$$

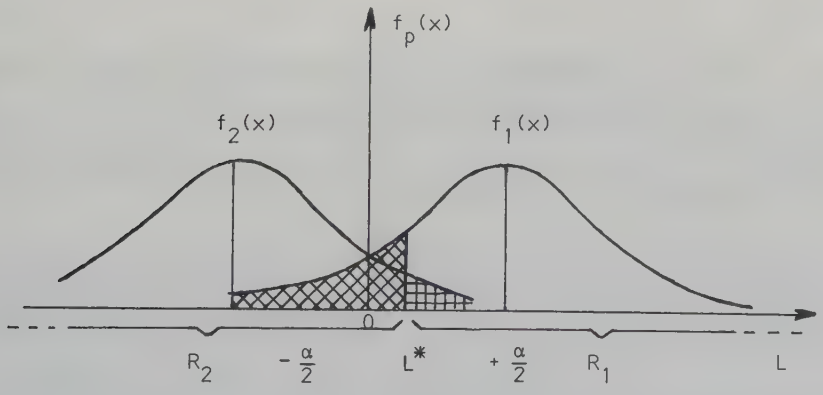
où $L^* = \text{Log} \dfrac{C(1/2)\, q_2}{C(2/1)\, q_1}$

De même la probabilité d'erreur de classification provenant de P_2 est :

(IV.6)

$$P(1/2) = \int_{\frac{L^* + \frac{1}{2}\alpha}{\sqrt{\alpha}}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}y^2} \, dy$$

On peut représenter graphiquement ces deux probabilités :



La partie hachurée correspondant au domaine R_1 est la probabilité de mal classer une observation venant de P_1, celle correspondant au domaine R_2 est la probabilité de mal classer une observation venant de P_2. On doit choisir L^* de telle manière que

$$C(2/1)\ P(2/1) = C(1/2)\ P(1/2)$$

quand les probabilités a priori sont inconnues.

Dans le cas général on recherche L^* par tatonnement à l'aide d'une table ; on observe cependant que si $C(2/1) = C(1/2)$, alors L^* est nul et la probabilité de mauvaise classification est :

$$\int_{\sqrt{\frac{\alpha}{2}}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}y^2}\, dy \qquad (IV.7)$$

On observe que la probabilité de mauvaise classification est d'autant plus faible que α est élevée, donc plus la distance entre les deux populations sera grande, meilleure sera la discrimination. Ainsi il sera possible de comparer l'efficacité de la discrimination apportée par différents vecteurs de variables exogènes : on choisira celui qui fournira la plus grande distance entre les populations P_1 et P_2.

α est aussi communément appelée le carré de la distance entre deux populations (1) :

$$\alpha = D^2$$

De son expression on déduit la contribution au D^2 de la $i^{ème}$ variable exogène :

$$D_i^2 = (\mu_{1i} - \mu_{2i})\ \Sigma_i^{-1}\ (\mu_1 - \mu_2)$$

$$= (\mu_{1i} - \mu_{2i})\ a_i \qquad (IV.8)$$

où Σ_i^{-1} est la $i^{ème}$ ligne de la matrice des variances et des covariances

a_i est le coefficient de la $i^{ème}$ variable.

Il est donc facile de voir quel rôle joue la $i^{ème}$ variable dans la séparation des deux populations.

Nous avons présenté l'analyse discriminante dans le cas où elle s'applique à des populations connues, mais dans la majorité des cas il est impossible de disposer de données précises sur la population. On obtient alors les paramètres de la fonction discriminante à l'aide des

---

(1) On pratique sur le D2 un test fondé sur la distribution de FISHER-SNEDECOR (cf. Annexe du chapitre III, R. LANG, "Modes de transport et comportements : la concurrence rail-route dans les transports interurbains français". Thèse, Bordeaux, 1977).

estimations classiques obtenues par la méthode du maximum de vraisemblance de μ_1, μ_2 et Σ :

(IV.9)

$$\begin{cases} \hat{\mu}_1 = \bar{x}_1 = \frac{1}{N_1} \sum_{j=1}^{N_1} x_j \text{ pour les } x_j \text{ tels que } z_j \in P_1 \\ \hat{\mu}_2 = \bar{x}_2 = \frac{1}{N_2} \sum_{j=1}^{N_2} x_j \text{ pour les } x_j \text{ tels que } z_j \in P_2 \\ \hat{\Sigma} = S = \frac{1}{N_1 + N_2 - 2} \left[\sum_{j=1}^{N_1} (x_j - \bar{x}_1)(x_j - \bar{x}_1)' + \sum_{j=1}^{N_2} (x_j - \bar{x}_2)(x_j - \bar{x}_2)' \right] \end{cases}$$

où z_j est la variable endogène.

Enfin si l'échantillon est représentatif de l'ensemble des populations on utilisera :

$$q_1 = \frac{N_1}{N_1 + N_2} \qquad \text{et} \qquad q_2 = \frac{N_2}{N_1 + N_2}$$

Cette procédure suggérée par FISCHER a été notamment employée dans le domaine des transports par QUARMBY d'abord, ROGERS, TOWNSEND et METCALF puis GENSOLEN et ROCHEFORT. Mais lorsque la fonction discriminante est évaluée à partir d'échantillons, on ne peut montrer qu'il s'agit d'une procédure optimale. ANDERSON conclut intuitivement que l'on devrait tout de même obtenir des résultats satisfaisants puisque l'analyse discriminante conduit à une procédure optimale dans le cas où les populations sont parfaitement connues et à des classes de procédures admissibles si les probabilités a priori seules ne sont pas connues.

2 - L'ANALYSE PROBIT (1)

L'analyse probit est un autre instrument qui peut être utilisé pour estimer la relation entre une variable dépendante binaire et un ensemble de variables explicatives. Cette technique a d'abord été utilisée dans des expériences biologiques où il s'agissait d'étudier la réaction d'une population d'insectes à une certaine dose de poison ; le résultat

---

(1) Le terme de probit vient de la contraction de l'expression "probability unit". Il a été suggéré par C.I. BLISS : "The Method of Probits". Science, vol. 79 p. 409-410. Il définit le probit de P par Y - 5 où

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{Y-5} exp\ (-\frac{1}{2} t^2)\ dt \text{ où } Y = \frac{X - \bar{x}}{\sigma}$$

il s'agit de la variable normée augmentée de 5.

ne pouvait prendre que deux formes : l'animal résistait à cette dose et demeurait en vie, ou bien il succombait, il n'était pas possible d'observer un état intermédiaire. Supposons que l'on expose un animal bien déterminé à une dose connue de poison, il existe pour lui une valeur seuil telle qu'au-dessus il meurt alors qu'en-dessous il reste en vie. Mais chaque animal de la population étudiée n'aura pas la même valeur du seuil, celle-ci peut varier d'un individu à l'autre dans des proportions assez considérables. L'étude du phénomène repose alors sur des hypothèses de distribution de ces seuils.

Les économistes ont repris cette idée de distribution de seuils. Cependant il est rare en économie qu'une seule variable intervienne de façon déterminante. Ainsi l'analyse du choix du mode de transport dans la concurrence rail route ne peut se contenter de la seule valeur du temps. C'est pourquoi il est apparu nécessaire de développer l'analyse probit dans le cadre multidimensionnel en faisant dépendre le choix du mode de transport d'un ensemble combiné de variables.

Nous supposons alors qu'il existe un indice L qui est le résultat d'une combinaison linéaire de variables indépendantes X_1, X_2, ..., X_k et que la valeur de cet indice L détermine si la variable dépendante z a la valeur 1 (le mode 1 est choisi) ou 0 (le mode 2 est choisi) pour la personne observée ayant effectué le voyage donné. Chaque personne j de la population sera caractérisée par un ensemble différent de variables indépendantes (X_{1j}, X_{2j}, ..., X_{kj}) et, naturellement, chaque personne aura un indice de valeur distinct tel que :

$$L(X_j) = a_0 + a_1 X_{1j} + a_2 X_{2j} + \ldots + a_k X_{kj}$$

Chaque personne aura une valeur critique différente, c'est-à-dire une valeur pour laquelle les deux modes en concurrence lui seront indifférents. Au-delà de cette valeur, l'individu choisira le mode 1 ; en-deçà, il choisira le mode 2 ; ce qui peut s'exprimer sous forme mathématique :

$$\text{Si } L_j \geqslant \overline{L_j} \qquad z_j = 1$$

$$\text{Si } L_j < \overline{L_j} \qquad z_j = 0$$

Il est impossible de connaître exactement la valeur d'indifférence de chaque individu, comme précédemment nous supposerons que celle-ci suit une certaine loi de distribution. Nous ferons l'hypothèse que les $\overline{L_j}$ sont distribués suivant une loi normale de moyenne 0 et de variance 1. C'est l'hypothèse de base sur laquelle repose l'analyse probit.

Pour une valeur donnée de l'indice L_o z sera égal à 1 pour toutes les personnes dont le seuil $\overline{L_j}$ est inférieur ou égal à L_o, toutes ces personnes ont choisi le mode 1 ; z sera égal à 0 pour les personnes dont le seuil $\overline{L_j}$ est supérieur à L_o, toutes ces personnes ont choisi le mode 2.

Comme la valeur de ce seuil est supposée distribuée suivant une loi normale au sein de la population, la probabilité qu'un individu

caractérisé par une valeur donnée L_o de L a de choisir le mode 1 est donnée par :

(IV.10) $$P_1 [L_o] = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{L_o} \exp\left(-\frac{1}{2} t^2\right) dt$$

La forme générale du modèle probit peut alors s'écrire :

(IV.11) $$P_1 (\bar{X}_j) = \int_{-\infty}^{L(\bar{X}_j)} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

où :

$P_1 (\bar{X}_j)$ = la probabilité qu'un individu j caractérisé par le vecteur $\bar{X}_j$ de variables explicatives prenne le mode 1

$L (\bar{X}_j)$ est une combinaison linéaire de variables explicatives telle que :

$$L (\bar{X}_j) = a_0 + a_1 X_{1j} + a_2 X_{2j} + \ldots + a_k X_{kj}$$

Le problème est maintenant de trouver les estimations des coefficients a_0, a_1, a_2, ... a_k de la fonction $L (\bar{X}_j)$. TOBIN a développé la solution du maximum de vraisemblance (1). LISCO, LAVE, FX. de DONNEA l'ont appliquée pour analyser le choix du mode de transport intra-urbain.

Pour trouver les estimateurs du maximum de vraisemblance de ces paramètres, nous allons établir la fonction de vraisemblance de l'échantillon (2). Nous savons que nous disposons d'un échantillon de N individus, et pour chacun de ces individus nous savons s'il a pris le mode 1 ou le mode 2, nous connaissons la valeur de chacune des variables explicatives qui le concernent. Nous appelons $\bar{X}_j$ la valeur du vecteur $\bar{X}$ des variables explicatives pour le $j^{ème}$ individu.

Afin de faciliter les calculs, il est nécessaire d'ordonner les individus de telle manière que les N_1 premières observations concernent uniquement les personnes qui ont pris le mode 1 et les $N - N_1$ autres observations concernent uniquement les personnes qui ont pris le mode 2. La fonction de vraisemblance de l'échantillon peut alors s'écrire :

(IV.12) $$\Lambda = \prod_{j=1}^{N_1} P_1 (\bar{X}_j) \prod_{j=N+1}^{N} [1 - P_1 (\bar{X}_j)]$$

---

(1) James TOBIN : "The Application of Multivariate Probit Analysis to Economic Survey Data", Cowles Foundation, Discussion, Paper n° 1, 1955.

(2) Cette démonstration empruntée à TOBIN et reprise par de DONNEA est une généralisation de la solution présentée par GARWOOD : "The Application of Maximum Likelihood to Dosage Mortality Curves", Biometrika, vol. XXX II, pages 46 à 58 (1941).

où $\bar{X}_j = X_{1j}, X_{2j}, \ldots, X_{kj}$

X_{ij} = la valeur de la $i^{ème}$ variable explicative pour le $j^{ème}$ individu.

En remplaçant $P_1(\bar{X}_j)$ et $P_2(\bar{X}_j)$ par leur expression en fonction des variables, la fonction de vraisemblance de l'échantillon s'écrit :

$$\Lambda = \prod_{j=1}^{N_1} \int_{-\infty}^{L(\bar{X}_j,\bar{a})} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} \prod_{j=N_1+1}^{N} \int_{L(\bar{X}_j,\bar{a})}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

et la fonction logarithmique de vraisemblance est :

(IV.13)
$$\text{Log } \Lambda = \Lambda^* = \sum_{j=1}^{N_1} \text{Log} \int_{-\infty}^{L(\bar{X}_j,\bar{a})} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt + \sum_{j=N_1+1}^{N} \text{Log} \int_{L(\bar{X}_j,\bar{a})}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}}$$

Cette fonction passe par un maximum pour les valeurs des paramètres qui annulent les dérivées partielles premières.

$$\Lambda_i^* = \frac{\delta \Lambda^*}{\delta a_i} = 0 \qquad \forall_i \quad i = 1, \ldots, k$$

Pour des raisons de simplification, nous posons :

(IV.14)
$$P_1(\bar{X}_j,\bar{a}) = \int_{-\infty}^{L(\bar{X}_j,\bar{a})} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

$$P_2(\bar{X}_j,\bar{a}) = \int_{L(\bar{X}_j,\bar{a})}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt$$

Ainsi, le logarithme de la fonction de vraisemblance s'écrit plus simplement :

$$\text{Log } \Lambda = \Lambda^* = \sum_{j=1}^{N_1} \text{Log } P_1[\bar{X}_j,\bar{a}] + \sum_{j=N_1+1}^{N} \text{Log } P_2[\bar{X}_j,\bar{a}]$$

$$\Lambda_i^* = \sum_{j=1}^{N_1} \frac{d \text{ Log } P_1(\bar{X}_j,\bar{a})}{d P_1(\bar{X}_j,\bar{a})} \cdot \frac{d P_1(\bar{X}_j,\bar{a})}{d L(\bar{X}_j,\bar{a})} \cdot \frac{d L(\bar{X}_j,\bar{a})}{d a_i}$$

$$+ \sum_{j=N_1+1}^{N} \frac{d \operatorname{Log} P_2 (\bar{X}_j, \bar{a})}{d P_2 (\bar{X}_j, \bar{a})} \times \frac{d P_2 (\bar{X}_j, \bar{a})}{d L (\bar{X}_j, \bar{a})} \times \frac{d L (\bar{X}_j, \bar{a})}{d a_i}$$

$$\Lambda_i^* = \sum_{j=1}^{N_1} \frac{1}{P_1 [\bar{X}_j, \bar{a}]} \times \frac{d P_1 [\bar{X}_j, \bar{a}]}{d L (\bar{X}_j, \bar{a})} \times X_{ij}$$

$$+ \sum_{j=N+1}^{N} \frac{1}{P_2 [\bar{X}_j, \bar{a}]} \times \frac{d P_2 [\bar{X}_j, \bar{a})]}{d L (\bar{X}_j, \bar{a})} \times X_{ij} = 0$$

En posant :

(IV.15)

$$Z_j = \frac{d P_1 [\bar{X}_j, \bar{a}]}{d L (\bar{X}_j, \bar{a})} = \frac{d \int_{-\infty}^{L (\bar{X}_j, \bar{a})} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt}{d L (\bar{X}_j, \bar{a})} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{[L (\bar{X}, \bar{a})]^2}{2}}$$

On écrit :

$$\frac{d P_2 (\bar{X}_j, \bar{a})}{d L (\bar{X}_j, \bar{a})} = \frac{d \int_{L (\bar{X}_j, \bar{a})}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}} dt}{d L (\bar{X}_j, \bar{a})} = - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{[L (\bar{X}, \bar{a})]^2}{2}}$$

donc $$\frac{d P_2 (\bar{X}_j, \bar{a})}{d L (\bar{X}_j, \bar{a})} = - Z_j$$

Compte-tenu de ces résultats, on peut écrire :

(IV.16)

$$\Lambda_i^* = \sum_{j=1}^{N_1} \frac{1}{P_1 [\bar{X}_j, \bar{a}]} \times Z_j X_{ij} - \sum_{j=N+1}^{N} \frac{1}{P_2 [\bar{X}_j, \bar{a}]} Z_j X_{ij} = 0$$

$i = 1, 2, \ldots, k$

Nous avons donc un système qui n'est pas linéaire en ses paramètres. Ce système doit être résolu par un processus itératif dans lequel nous employons un ensemble de valeurs de départ des coefficients a_i.

Appelons a^* le vecteur de ces valeurs de départ.

Soit $\Lambda_i^* (a^*)$ Λ_i^* évalué à a^*

Les ajustements linéaires qui feront tendre Λ_i^* vers 0 sont calculés comme les solutions du système linéaire suivant (1) :

$$\Lambda_i^* (a^*) + \sum_{\ell=1}^{k} \Delta a_\ell \, \Lambda_{i\ell}^* (a^*) = 0$$

où :

$$\Lambda_{i\ell}^* \quad \frac{\delta \Lambda_i^*}{\delta a_\ell} \quad \text{et} \quad \Lambda_{i\ell}^* (a^*) = \Lambda_{i\ell}^* \quad \text{évalué à } a^*$$

$$\Lambda_{i\ell}^* = \sum_{j=1}^{N_1} \frac{X_{ij} \frac{\partial Z_j}{\partial a_\ell} P_1 (\bar{X}_j, a^*) - X_{ij} Z_j \frac{\partial P_1 (\bar{X}, a^*)}{\partial a_\ell}}{\left[P_1 (\bar{X}_j, a^*) \right]^2}$$

$$- \sum_{j=N+1}^{N} \frac{X_{ij} \frac{\partial Z_j}{\partial a_\ell} P_2 (\bar{X}_j, a^*) - X_{ij} Z_j \frac{\partial P_2 (\bar{X}, a^*)}{\partial a_\ell}}{\left[P_2 (\bar{X}_j, a^*) \right]^2}$$

où :

$$\frac{\partial Z_j}{\partial a_\ell} = (- L (\bar{X}, a^*)) X_{\ell j} Z_j$$

$$\frac{\partial P_1 (\bar{X}_j, a^*)}{\partial a_\ell} = Z_j X_{\ell j}$$

$$\frac{\partial P_2 (\bar{X}_j, a^*)}{\partial a_\ell} = - Z_j X_{\ell j}$$

On peut alors écrire

$$\Lambda_{i\ell}^* = \sum_{j=1}^{N_1} \frac{X_{ij} X_{\ell j} Z_j \left[- P_1 (\bar{X}_j, a^*) (L (X_j, a^*)) - Z_j \right]}{\left[P_1 (\bar{X}_j, a^*) \right]^2}$$

$$- \sum_{j=N+1}^{N} \frac{X_{ij} X_{\ell j} Z_j \left[- P_2 (\bar{X}_j, a^*) (L (\bar{X}, a^*)) + Z_j \right]}{\left[P_2 (\bar{X}_j, a^*) \right]^2}$$

(1) Cette méthode est appelée méthode de NEWTON-RAPHSON.

Les ajustements linéaires seront obtenus par la résolution du système suivant :

(IV.17)
$$0 = \sum_{j=1}^{N_1} \frac{X_{ij}\, Z_j}{P_1\,(\bar{X}_j, a^*)} - \sum_{j=N_1+1}^{N} \frac{X_{ij}\, Z_j}{P_2\,(\bar{X}_j, a^*)}$$

$$+ \sum_{\ell=1}^{k} \Delta a_\ell \left[\sum_{j=1}^{N_1} \frac{X_{ij}\, X_{\ell j}\, Z_j \left[- P_1\,(\bar{X}_j, a^*)\,(L\,(\bar{X}_j, a^*)) - Z_j \right]}{\left[P_1\,(\bar{X}_j, a^*) \right]^2} \right.$$

$$\left. - \sum_{j=N+1}^{N_1} \frac{X_{ij}\, X_{\ell j}\, Z_j \left[- P_2\,(\bar{X}_j, a^*)\,(L\,(\bar{X}_j, a^*)) + Z_j \right]}{\left[P_2\,(\bar{X}_j, a^*) \right]^2} \right]$$

Après avoir obtenu les nouvelles valeurs de départ de a_i telles que :

$$a^{**}_i = a^*_i + \Delta a_i$$

le processus est répété jusqu'à ce que les Δa_i soient négligeables.

Par les hypothèses qu'elle suppose l'analyse probit apparaît moins contraignante que l'analyse discriminante. Comme pour cette dernière, c'est l'hypothèse de distribution normale qui dans la pratique est susceptible d'être la moins satisfaisante. Cependant contrairement à l'analyse discriminante, il ne s'agit plus d'une distribution multinormale puisqu'il suffit que le seuil soit distribué normalement. Or, si l'on admet comme le suggère DE DONNEA que le choix du mode de transport résulte d'une multitude d'éléments indépendants, l'application du théorème central limite permet d'affirmer que la loi asymptotique de ce seuil est une loi normale. On sera d'autant mieux assuré que les hypothèses d'application de l'analyse probit sont remplies que le nombre de variables exogènes introduites dans le modèle sera élevé et qu'elles seront non corrélées entre elles.

3 - L'ANALYSE LOGIT (1)

Des trois analyses qui nous servent à étudier le choix binaire, l'analyse logit est celle qui a les bases les plus empiriques. En effet, l'hypothèse fondamentale de l'analyse logit est que la relation entre la probabilité de choisir un mode de transport donné et une combinaison linéaire ou non linéaire de variables explicatives est de forme sigmoïde.

---

(1) Ce terme est dû à J. BERKSON : "Application of the Logistic Fonction to Bio Assay", Journal of the American Statistical Association, n° 39, pages 357 à 365 (1944). Il définit le logit de P par Y tel que

$$P = \frac{e^Y}{1 + e^Y}$$

La fonction de probabilité logistique a une forme symétrique par rapport à son point d'inflexion comme la courbe cumulative de la loi de GAUSS, mais ici on se passe de l'hypothèse que les valeurs d'indifférence de la combinaison des variables sont distribuées normalement au sein de la population des voyageurs.

Si nous appelons P_1 la probabilité qu'un individu choisisse le mode 1, le logit de P_1 sera défini comme l'expression $\text{Log} \frac{P_1}{1 - P_1}$
L'analyse logit suppose alors que :

$$\text{(IV.18)} \qquad \text{Log} \frac{P_1}{1 - P_1} = L\,[X]$$

où $L\,[X]$ est une combinaison des variables affectant le choix modal ou une quelconque transformation de ces variables.

De cette équation on déduit :

$$\frac{P_1}{1 - P_1} = e^{L\,[X]}$$

d'où :

$$P_1 = \frac{e^{L\,[X]}}{1 + e^{L\,[X]}}$$

Deux méthodes ont jusqu'alors été employées pour estimer les paramètres de l'analyse logit. La première, celle du maximum de vraisemblance, a été employée par WARNER (1) ; une seconde méthode fondée sur les moindres carrés nécessite le partage de l'échantillon en classes d'individus ayant les mêmes valeurs des variables explicatives. Cette méthode décrite par THEIL (2) est plus contraignante au niveau des données et plus limitée au niveau des résultats que celle du maximum de vraisemblance.

---

(1) Stanley L. WARNER, op. cit. Les coefficients sont obtenus à la suite d'un processus identique à celui présenté pour l'analyse probit.

(2) H. THEIL : "A Multinomial Extension of Linear Logit Model", International Economic Review, 1969, pages 251 à 259.

II - ÉTUDE COMPARATIVE DES TROIS ANALYSES

Les trois analyses qui viennent d'être présentées ont en commun d'être des techniques de régression non linéaire. Elles permettent d'obtenir des probabilités de choix à partir du comportement observé des voyageurs. Bien qu'elles soient d'application encore récente, certains auteurs se sont posé la question de savoir quelle analyse est la plus satisfaisante. F.X. de DONNEA (1), réfléchissant sur les hypothèses de départ, rejette l'analyse discriminante au profit des analyses probit et logit. En particulier il considère que la nécessité de disposer de probabilités a priori est un handicap pour déterminer les paramètres de la fonction de probabilité.

La démarche de STOPHER et LAVENDER (2) paraît plus convaincante ; à partir d'un même ensemble de données, ils appliquent simultanément les trois analyses et à l'aide de tests cherchent celle qui fournit les meilleurs résultats. Les tests classiques (D^2 et son F, χ^2 et pseudo R^2) (3) outre leur difficulté d'interprétation, ne permettent pas une comparaison des trois analyses. Les auteurs ont donc cherché à établir un test commun et le rapport de corrélation leur est apparu comme l'instrument le plus approprié ; ils montrent que l'analyse discriminante fournit des résultats moins bons que ceux des autres analyses entre lesquelles ils ne peuvent se prononcer. L'intérêt du rapport de corrélation est évident dès que l'on a affaire à une relation non linéaire ; cependant, son calcul présente un aspect arbitraire lié au nombre de classes et oppose de sérieuses difficultés dans le cadre de l'analyse multivariable. Finalement le rapport de corrélation n'apparaît pas comme un test suffisamment fiable pour rejeter de façon définitive l'analyse discriminante.

Nous préférons comparer ces trois analyses en montrant que les analyses probit et logit sont très voisines et qu'il est peu probable qu'une comparaison sur la base de tests statistiques puisse les départager. Par contre, en dégageant certains liens entre ces différentes analyses et la régression nous montrerons d'une part que les analyses probit et logit sont très proches l'une de l'autre et d'autre part qu'elles se révèlent des techniques améliorant les ajustements de l'analyse discriminante.

1 - LA PROXIMITE DES ANALYSES PROBIT ET LOGIT

Le principe de la méthode du maximum de vraisemblance a été adopté pour déterminer les paramètres de ces deux analyses. Le maximum de vraisemblance de l'échantillon ou plus précisément le maximum de son logarithme

---

(1) F.X. de DONNEA, op. cit. page 73.

(2) P.R. STOPHER et J.O. LAVENDER, op. cit.

(3) Tous ces tests sont présentés dans l'annexe du Chapitre III. R. LANG, thèse op. cit.

(IV.19)
$$\text{Log } \Lambda = \text{Log} \left[\prod_{j=1}^{N_1} P_1 (x) \prod_{j=N+1}^{N} (1-P_1) (x) \right]$$

est obtenu en annulant les dérivées premières de Log Λ par rapport aux paramètres à estimer. Mais dans aucun des deux cas on ne parvient à des équations linéaires en fonction des paramètres. Nous avons donc eu recours à la méthode itérative de NEWTON-RAPHSON pour obtenir ces paramètres de telle sorte qu'à la n ème itération nous ayons :

(IV.20)
$$\frac{\partial \text{ Log } \Lambda}{\partial \bar{a}} + \left[\frac{\partial^2 \text{ Log } \Lambda}{\partial \bar{a}^2} \right] (\bar{a}_{n+1} - \bar{a}_n) = 0$$

Considérons les paramètres obtenus à la première itération en partant d'un vecteur initial nul. Dans le cas de l'analyse probit l'équation (IV.14) est dans ces conditions égale à 0,5 et l'équation (IV.15) égale à $\frac{1}{\sqrt{2\pi}}$. Le vecteur des dérivées premières s'écrit alors :

(IV.21)
$$\frac{\partial \text{ Log } \Lambda}{\partial \bar{a}} = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \quad (N_1 \bar{x}_1 - N_2 \bar{x}_2)$$

et la matrice des dérivées secondes :

(IV.22)
$$\frac{\partial^2 \text{ Log } \Lambda}{\partial \bar{a}^2} = - \frac{2}{\pi} \sum_{j=1}^{N} x_i x'_i = - \frac{2}{\pi} M$$

où M est égale à N fois la matrice des moments non centrés d'ordre 2 de format k + 1. La valeur des coefficients de la première itération est donc :

(IV.23)
$$\bar{a}_{1P} = \sqrt{\frac{\pi}{2}} M^{-1} (N_1 \bar{x}_1 - N_2 \bar{x}_2)$$

Dans le cas de l'analyse logit on a de même

$$\frac{\partial \text{ Log } \Lambda}{\partial \bar{a}} = \frac{1}{2} \quad (N_1 \bar{x}_1 - N_2 \bar{x}_2)$$

$$\frac{\partial^2 \text{ Log } \Lambda}{\partial \bar{a}^2} = - \frac{4}{M}$$

d'où

(IV.24)
$$\bar{a}_{1L} = 2 M^{-1} (N_1 \bar{x}_1 - N_2 \bar{x}_2)$$

Il apparaît clairement que lors de la première itération les deux vecteurs de coefficients sont proportionnels, le coefficient de proportionnalité étant $\sqrt{\frac{8}{\pi}}$.

Ce résultat provient du fait que :

$$\int_{-\infty}^{o} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\frac{(x-m)^2}{\sigma}} = \frac{e^o}{1+e^o} = 0,5$$

Au-delà de la première itération la stricte proportionnalité disparaît. Néanmoins les deux analyses conduisent à des résultats très voisins. En effet les probabilités obtenues par les deux analyses pour une même valeur de L (x, a) sont très proches.

L (x, a)	Logit	Probit
0	0,500	0,500
0,5	0,622	0,619
1,5	0,731	0,728
2,0	0,818	0,818
2,5	0,881	0,887
3,0	0,924	0,935
3,5	0,953	0,965
4,0	0,971	0,983
4,5	0,982	0,992
5,0	0,989	0,997
5,5	0,993	0,999

On peut donc s'attendre à obtenir des résultats proches d'une liaison proportionnelle entre les coefficients des deux analyses. Nous confirmons ainsi les résultats de STOPHER et LAVENDER qui sur d'autres bases empiriques ont conclu qu'il n'était pas possible de choisir entre les deux analyses.

2 - LE LIEN ENTRE L'ANALYSE DISCRIMINANTE ET LA REGRESSION

Il est tout à fait possible de faire sur l'échantillon de la population considérée une analyse de régression où le vecteur x demeure le vecteur des variables exogènes et où y est le vecteur des variables endogènes dont les composantes ne peuvent prendre que deux valeurs. Le modèle général s'écrit :

$$y = \beta X + \upsilon$$

y : vecteur à N composantes dont dans le cas général N_1 sont égales à λ et N_2 égales à μ

β : vecteur des coefficients à estimer

X : matrice des variables explicatives

υ : vecteur des variables aléatoires.

Avant de montrer la relation entre les deux analyses nous exposerons les différences entre leurs hypothèses.

Dans la régression les variables exogènes sont considérées comme certaines alors que dans l'analyse discriminante il s'agit de variables aléatoires dont la spécificité de la loi de probabilité permet de préciser la fonction discriminante. Par contre la régression repose sur des hypothèses restrictives concernant le vecteur υ. En particulier on doit avoir

$E\{\upsilon_i\} = 0$ condition nécessaire pour que le vecteur β soit spécifié

$COV\{\upsilon_i\ \upsilon_j\} = 0$ les effets des facteurs non identifiés doivent être indépendants

$VAR\{\upsilon_i\} = \sigma^2$ tous les facteurs non identifiés doivent suivre une loi de même variance.

C'est cette dernière hypothèse, l'homoscédasticité, qui paraît la plus difficile à admettre lorsque la variable endogène est binaire.

Malgré ces différences fondamentales certains auteurs n'ont pas hésité à chercher un lien entre les deux analyses.

FISHER est à notre connaissance le premier à avoir dégagé l'existence d'une proportionnalité entre les coefficients de la fonction discriminante et ceux de la fonction de régression lorsque la variable binaire prend les valeurs

$$\frac{N_2}{N_1 + N_2} \quad \text{et} \quad -\frac{N_1}{N_1 + N_2}$$

Ces résultats sont repris par KENDALL et ANDERSON ; GENSOLEN a montré que cette proportionnalité existe pour une variable binaire quelconque. Nous esquissons la démonstration :

Soit la variable endogène binaire

$y_{jp} = \lambda$ si $p = 1$

$y_{jp} = \mu$ si $p = 2$

L'application de la méthode des moindres carrés conduit à rechercher le vecteur β qui minimise :

$$(IV.25) \quad Q = e'\,e = \left[y' - \beta' X'\right]\ \left[y - X\beta\right]$$

expression qui peut s'écrire

$$(IV.26) \quad Q = \sum_{p=1}^{2} \sum_{j=1}^{N_p} \left[y_{jp} - \beta' x_{jp}\right]^2$$

où x_{jp} est le vecteur des variables explicatives du j ème individu dans la p ème population.

Le vecteur β qui rend cette expression minimum est tel que :

(IV.27) $$\sum_{p=1}^{2}\sum_{j=1}^{N_p}(y_{jp}-\bar{y})(x_{jp}-\bar{x}) = \left[\sum_{p=1}^{2}\sum_{j=1}^{N_p}(x_{jp}-\bar{x})(x_{jp}-\bar{x})'\right]\beta$$

ou sous forme matricielle

$$C = A\,\beta$$

où A est N fois la matrice des variances et des covariances de la population totale.

Le vecteur C peut se transformer très simplement en tenant compte du fait que

$$\bar{x} = \frac{N_1\,\bar{x}_1 + N_2\,\bar{x}_2}{N_1 + N_2}$$

Après développement on obtient :

(IV.28) $$C = (\lambda - \mu)\,\frac{N_1\,N_2}{N_1 + N_2}\,(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)$$

On parvient ainsi à une première expression de β :

(IV.29) $$\beta = (\lambda - \mu)\,\frac{N_1\,N_2}{N_1 + N_2}\,A^{-1}\,(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)$$

Dans l'analyse discriminante les coefficients sont exprimés en fonction de la matrice des variances et des covariances. Or A peut se transformer :

(IV.30) $$A = \sum_{p=1}^{2}\sum_{j=1}^{N_p}(x_{jp}-\bar{x}_p)(x_{jp}-\bar{x}_p)' + \frac{N_1\,N_2}{N_1 + N_2}(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)'$$

De plus nous savons que le meilleur estimateur de la matrice des variances et des covariances de deux populations normales dont les vecteurs des moyennes sont différents mais dont la matrice de dispersion est la même, est :

(IV.31) $$S = \frac{1}{N_1 + N_2 - 2}\left[\sum_{p=1}^{2}\sum_{j=1}^{N_p}(x_{jp}-\bar{x}_p)(x_{jp}-\bar{x}_p)'\right]$$

'où :

$$A = (N_1 + N_2 - 2)\,S + \frac{N_1\,N_2}{N_1 + N_2}(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)'$$

On obtient alors une nouvelle expression de β qui fait apparaître une proportionnalité avec la fonction discriminante. En effet :

$$(IV.32) \qquad (\lambda-\mu)\frac{N_1 N_2}{N_1+N_2}(\bar{x}_1-\bar{x}_2) = (N_1+N_2-2)\,S\beta + \frac{N_1 N_2}{N_1+N_2}(\bar{x}_1-\bar{x}_2)(\bar{x}_1-\bar{x}_2)'\beta$$

d'où

$$\beta = \frac{(\lambda-\mu)\,N_1 N_2}{(N_1+N_2)(N_1+N_2-2)} S^{-1}(\bar{x}_1-\bar{x}_2) - \frac{N_1 N_2 S^{-1}(\bar{x}_1-\bar{x}_2)(\bar{x}_1-\bar{x}_2)'\beta}{(N_1+N_2)(N_1+N_2-2)}$$

Or $a_D = S^{-1}(\bar{x}_1-\bar{x}_2)$

$$(IV.33) \qquad \beta = \frac{N_1 N_2}{(N_1+N_2)(N_1+N_2-2)}\left[(\lambda-\mu) - (\bar{x}_1-\bar{x}_2)'\beta\right] \times a_D$$

ou encore

$$(IV.34) \qquad a_D = \frac{(N_1+N_2)(N_1+N_2-2)}{N_1 N_2\left[(\lambda-\mu) - (\bar{x}_1-\bar{x}_2)'\beta\right]} \times \beta$$

Il existe donc une relation de proportionnalité entre le coefficient de l'analyse discriminante et celui de la régression. Si $\lambda = 1$ et $\mu = 0$, ce que l'on peut toujours obtenir par un changement de variables approprié, le coefficient de proportionnalité s'écrit plus simplement :

$$(IV.35) \qquad k = \frac{(N_1+N_2)(N_1+N_2-2)}{N_1 N_2\left[1 - (\bar{x}_1-\bar{x}_2)'\beta\right]}$$

3 - OU LES ANALYSES PROBIT ET LOGIT S'AVERENT SUPERIEURES A L'ANALYSE DISCRIMINANTE

Le lien de proportionnalité entre les coefficients de l'analyse de régression et ceux de l'analyse discriminante permet une comparaison intéressante avec les analyses probit et logit. En effet la quantité

$$(IV.36) \qquad M^{-1}(N_1\bar{x}_1 - N_2\bar{x}_2)$$

est l'expression du vecteur des coefficients d'une analyse de régression sur une variable endogène qui prendrait les valeurs 1 et - 1.

Dans le cas général nous avons :

$$\beta = (X' X)^{-1} X' y$$

Or $(X' X) = M$

D'autre part si y prend les valeurs 1 et - 1, alors

$$X' y = N_1 \bar{x}_1 - N_2 \bar{x}_2$$

On a bien :

(IV.38) $$\beta = M^{-1} (N_1 \bar{x}_1 - N_2 \bar{x}_2)$$

Les coefficients des analyses logit et probit obtenus à la première itération sont proportionnels à ceux de la régression sur une variable endogène 1 et - 1.

Mais nous avons montré que β s'écrit aussi sous la forme suivante :

(IV.39) $$\beta = (\lambda - \mu) \frac{N_1 N_2}{N_1 + N_2} A^{-1} (\bar{x}_1 - \bar{x}_2)$$

Dans le cas où $\lambda = 1$ et $\mu = -1$ on a

(IV.40) $$M^{-1} (N_1 \bar{x}_1 - N_2 \bar{x}_2) = 2 \frac{N_1 N_2}{N_1 + N_2} A^{-1} (\bar{x}_1 - \bar{x}_2)$$

où M matrice carrée de format k + 1 est N fois la matrice des moments non centrés, bordée en (k + 1)ème ligne et colonne par le vecteur $(\bar{x}_1, \ldots, \bar{x}_k, 1)$ alors que A, de format k, est N fois la matrice des moments centrés.

De cette relation on déduit le lien de proportionnalité des coefficients de l'analyse logit et probit dans le cas où $\lambda = 1$ et $\mu = 0$.

$$\beta = \frac{N_1 N_2}{N_1 + N_2} A^{-1} (\bar{x}_1 - \bar{x}_2) = \frac{1}{2} M^{-1} (N_1 \bar{x}_1 - N_2 \bar{x}_2)$$

(IV.41) $$\beta = \frac{(1 - R^2) N_1 N_2}{(N_1 + N_2 - 2)(N_1 + N_2)} a_D$$

où a_D est le vecteur des coefficients de l'analyse discriminante.

On a alors les relations suivantes entre a_D, a_{1P} et a_{1L} pour les k premières composantes :

(IV.42) $$a_{1P} = \sqrt{2\pi}\ \frac{(1 - R^2)\ N_1\ N_2}{(N_1 + N_2 - 2)\ (N_1 + N_2)}\ a_D$$

(IV.43) $$a_{1L} = 4\ \frac{(1 - R^2)\ N_1\ N_2}{(N_1 + N_2)\ (N_1 + N_2)}\ a_D$$

L'existence de ce lien de proportionnalité montre que l'estimation des paramètres des analyses probit et logit par la méthode du maximum de vraisemblance est un processus qui améliore les probabilités de classement obtenues par l'analyse discriminante. Ce résultat justifie le choix de DE DONNEA en faveur des analyses probit et logit et surtout confirme les résultats obtenus par STOPHER et LAVENDER à partir du rapport de corrélation.

En définitive, ces analyses sont assez voisines : elles conduisent toutes les trois à des fonctions de répartition de forme logistique des probabilités de choix du mode de transport. L'analyse discriminante, de loin la plus contraignante par les hypothèses qu'elle suppose, est moins satisfaisante que les deux autres ; son seul avantage est de ne pas exiger de processus itératifs qui peuvent se révéler coûteux.

CONCLUSION

A l'issue des analyses économétriques de la concurrence modale il apparaît que les modèles désagrégés offrent des avantages nets par rapport aux modèles agrégés pour analyser le choix modal (1).

Les modèles agrégés essaient d'expliquer des flux modaux à l'aide de variables caractéristiques d'une zone et d'une relation. On considère qu'un ensemble de valeurs moyennes concernant la zone (revenus, motorisation, ...) et la relation (temps et coûts de transports principaux et terminaux) suffit à déterminer le flux de trafic. Or, deux villes qui présenteraient des caractéristiques moyennes identiques peuvent en connaître des dispersions très différentes non sans influence sur le choix modal. La même critique s'applique aux caractéristiques de l'offre de transport dont on ignore aussi les disparités. Cette lacune est plus grave pour les transports individuels que pour les transports en commun. D'autre part en se fondant sur des flux les modèles agrégés agrègent implicitement des voyages très différents. Même dans leurs présentations les plus récentes qui essaient de combiner l'affectation modale et la génération de trafic ils sont incapables d'intégrer la diversité des comportements qui sont à l'origine du voyage et du choix modal. Ces modèles enfin sont soumis à des contraintes strictes issues d'hypothèses du comportement du voyageur or, nous avons vu que la rationalité ou la cohérence dans le choix du mode de transport sont fondées sur d'autres termes que des considérations de temps et de coût. Cette triple faiblesse structurelle est la raison fondamentale de la pauvreté des résultats et l'obstacle majeur au développement des modèles agrégés. Leur seul avantage est de parvenir à des évaluations de flux de trafic plus directement opérationnelles que les probabilités de choix des modèles désagrégés.

Pour éviter l'inconvénient structurel des modèles agrégés, des auteurs ont recouru aux analyses discriminante, probit et logit pour traiter le choix modal. L'attention est alors portée sur le comportement des individus à partir desquels on établit des probabilités de choix modal. Cette méthode apparaît beaucoup plus cohérente avec l'approche théorique que nous avons développée au chapitre I et également plus cohérente avec les théories modernes de la décision qui établissent que toute décision humaine est par essence probabiliste. La structure de ces modèles n'impose aucune contrainte au comportement individuel, cette souplesse d'utilisation est due non seulement à leur caractère stochastique mais aussi à la nature individuelle des données. Fondées sur des choix effectivement observés ces techniques mesurent l'importance des caractéristiques individuelles et du système de transport sur le choix modal. Elles sont aptes à prendre en compte un grand nombre de variables dans la mesure où elles sont quantifiables. Les modèles désagrégés permettent enfin des analyses détaillées dans le cadre de certaines catégories de voyageurs ou de voyages ce qui en particulier permet d'observer quelles sont les personnes les plus sensibles à des améliorations technologiques.

L'inconvénient majeur des modèles est de ne pas aboutir, du moins directement, à des flux de trafic. Il est certain que pour être

---

(1) Pour une analyse approfondie sur l'emploi des modèles en économie des transports on peut lire : A. BONNAFOUS et B. GERARDIN, op. cit.

véritablement opérationnel un modèle doit combiner les deux approches. C'est vraisemblablement l'une des raisons qui a poussé A.J. BLACKURN à proposer un modèle dont la singularité est d'aboutir à des flux de trafic en partant de données individuelles (1). Il a en effet cherché à spécifier la demande par groupes de revenu. Ce modèle échappe donc partiellement à la critique adressée aux modèles agrégés puisqu'il tient mieux compte des disparités des réactions individuelles. Toutefois la méthode d'estimation reste encore très lourde et exige des données très nombreuses d'un coût d'obtention fort élevé. Finalement malgré l'intérêt que présente une telle tentative, celle-ci nous est apparue d'un coût d'opportunité trop lourd, eu égard aux connaissances actuelles des transports interurbains français, c'est pourquoi nous avons préféré utiliser les analyses désagrégées dans le but, certes plus restrictif, de caractériser la structure du marché.

---

(1) Anthony J. BLACKBURN "An Alternative Approach to Agregation and Estimation in the non-linear Model", in R.E. QUANDT : "Demand for Travel : Theory and Measurement", op. cit. pages 181 à 196.

TROISIÈME PARTIE

ANALYSE ÉCONOMÉTRIQUE DE LA CONCURRENCE RAIL-ROUTE DANS LES TRANSPORTS INTERURBAINS FRANÇAIS

Avant d'aborder la présentation des données et des résultats issus des analyses, quelques réflexions sur l'ingrate tâche qu'est la recherche des données ne sont pas inutiles pour éclairer l'esprit de notre recherche. Les économètres les plus éminents insistent depuis longtemps sur la nécessaire recherche de données. Ainsi Monsieur E. MALINVAUD conclut-il son imposant ouvrage par ces mots "Enfin nous ne devons jamais oublier que nos progrès dans la compréhension des lois économiques dépendent étroitement de la qualité et de l'abondance des données statistiques. Rien ne peut remplacer le lent travail d'observations objectives des faits. Tous les perfectionnements resteraient vains s'ils devaient s'appliquer à des données médiocres" (1). Plus polémiste, le Professeur LEONTIEF dans un article célèbre s'élève contre la pauvreté des résultats en raison du manque de goût des économistes à se lancer dans la recherche empirique et dans la collecte de données en particulier (2). Nous avons qualifié cet effort d'ingrat car il exige un travail long, minutieux et ne peut guère être matière à publication. En outre, au bout de cet effort les données obtenues restent inévitablement imparfaites et objet de plus ou moins de suspicion. Oskar MORGENSTERN s'est longuement appesanti sur l'imprécision et l'erreur des données économiques, relevant dans le cas général dix types d'erreurs possibles (3).

L'essentiel de notre recherche empirique repose sur une enquête dont nous avons regroupé les renseignements selon trois types : l'observation faite par l'enquêteur, la réponse fournie par l'enquête et en troisième lieu des données calculées à partir des renseignements de l'enquête. Compte tenu de cette triple origine des données on peut énumérer quatre sources d'inexactitude en se référant partiellement à la typologie d'Oskar MORGENSTERN :

- erreurs dues au questionnaire
- erreurs dues à l'échantillonnage
- formation des observateurs
- informations soustraites, mensonges.

---

(1) Edmond MALINVAUD : "Méthodes statistiques de l'économétrie" 2ème éd., Dunod - Paris 1969, p. 759.

(2) Wassily LEONTIEF : "Theorical Assumptions and Nonobserved Facts", American Economic Review, mars 1971, repris dans Problèmes Economiques sous le titre : "Réflexions du Professeur Léontief sur les travers actuels de la science économique", n° 1227, juillet 1971.

(3) Oskar MORGENSTERN : "On the Accuracy of Economic Observations", Princeton University Press 1963, traduction française : "Précisions et incertitudes des données économiques", Dunod, Paris, 1972.

La confection du questionnaire est une étape essentielle dans la recherche empirique ; il doit répondre à deux exigences antagonistes : être simple et complet. Simple, car le questionnaire ne doit pas rebuter, chaque question doit susciter une réponse évidente pour l'enquêté sans lui demander trop d'effort de réflexion ou de mémoire ; en pratique il est difficile d'éviter l'ambiguïté ou l'incompréhension, par exemple la distinction entre trajet et voyage qui impose de bien distinguer la destination du trajet de la destination principale du voyage, fut sans doute parfois source d'obscurité. Complet, car faute d'être exhaustif le questionnaire doit s'efforcer d'aller à l'essentiel, il doit donc établir une hiérarchie des renseignements souhaités et tenir compte des conditions de l'enquête. Ces conditions de réalisation naturellement différentes pour la route et pour le rail ont fait que moins de renseignements ont pu être collectés auprès des voyageurs routiers.

Dans de nombreuses recherches où il est impossible d'effectuer le recensement de toutes les données, on a recours aux études d'échantillonnage. KOOPMANS écrit à leur sujet qu'"elles représentent l'instrument principal de l'observation active des variables quantitatives ou des variables qualitatives classifiables de l'économie" (1). Le domaine d'étude a conduit à appliquer la méthode probabiliste en fixant un taux de sondage. Rappelons que la précision d'un sondage est plus fonction de l'effectif absolu que du taux de sondage, c'est pourquoi il est quelquefois difficile de réaliser des études fiables sur des sous-échantillons ; ainsi certaines tendances mises en évidence au niveau global ne se sont pas trouvées vérifiées au niveau de chacune des relations car l'effectif des observations était trop faible. Certes les méthodes statistiques permettent d'estimer les erreurs d'échantillonnage, éventuellement de les redresser mais de toutes façons "les résultats des enquêtes par sondages sont toujours affectés d'erreurs aléatoires, imputables au fait que les observations ne concernent qu'une fraction des unités statistiques de l'ensemble étudié" (2).

Même si l'on a affaire à des enquêteurs chevronnés, ce ne sont pas des observateurs scientifiques. On ne peut demander à chacun d'eux d'être économiste ou statisticien ; en présence des faits observés il n'est pas en mesure de porter le jugement du spécialiste qui exploitera les résultats et même le petit livret fourni à chaque enquêteur, ne saurait répondre à toutes les situations.

Les informations soustraites ou les mensonges sont assez fréquents dans les enquêtes. Cette attitude traduit souvent le souci de céler des éléments qui font partie de l'intimité ou bien également le goût des réponses fantaisistes, entre autres chez les jeunes. Singulièrement le revenu n'est pas volontiers dévoilé : il y a, en France en particulier, toujours la crainte que de tels renseignements tombent entre les mains du fisc. Pour illustration, on a relevé qu'un militaire du contingent voyageant en seconde classe déclara un revenu de plus de 100 000 francs par an. Cette sorte de réponse a toutes les apparences de la fantaisie mais rien ne permet de l'affirmer. Là encore certains redressements sont possibles pour remédier soit aux observations aberrantes soit et surtout aux omissions. Pour notre part nous avons employé

---

(1) T.C. KOOPMANS, "Three Essays on the State of Economic Science" Mc Graw Hill, traduction française : "Trois essais sur la science économique contemporaine", Dunod, Paris 1970, p. 213.

(2) Michel LEVY : "L'Information statistique", Seuil, Paris, 1975, p. 71.

une méthode qui n'est pas exempte de critiques puisque nous avons négligé les individus qui n'ont pas répondu aux questions retenues pour la constitution de notre fichier. Or, rien ne permet de dire que ces omissions s'établissent de façon aléatoire ; on est donc en droit de penser qu'un léger biais s'est introduit dans les résultats.

De nombreuses observations économiques sont de caractère qualitatif, la classification adoptée, indissociable de l'objet de l'étude prend alors une signification très importante. Par exemple l'approche de la catégorie socio-professionnelle par une nomenclature différente de celle de l'INSEE a permis de bien distinguer les militaires du contingent des militaires de carrière mais n'a pas permis de distinguer les professions libérales des cadres supérieurs alors que cette distinction est fondamentale sur le plan de la perception du coût du voyage.

En économie il n'est pas d'usage courant de mentionner l'imprécision relative de la mesure des données comme cela se pratique dans les sciences physiques. Il ne faut pas voir dans cette lacune une précision supérieure de la mesure des données économiques mais plutôt une incapacité à évaluer l'imprécision relative. Pratiquement pour notre étude l'insuffisance et la disparité des données d'enquête nous ont contraint à reconstituer par le calcul des données essentielles ; certaines d'entre elles ont pu l'être avec une relative précision comme la distance, d'autres au contraire bornent leur ambition à indiquer une tendance moyenne. Ainsi la reconstitution du temps de voyage en automobile pourtant calculé en intégrant la distance, la largeur de la chaussée, le trafic journalier moyen et un coefficient de visibilité approximatif, ne représente que fortuitement le véritable temps car n'entrent pas en ligne de compte l'époque du voyage, ni les caractéristiques du véhicule, ni le genre de conduite de l'automobiliste. Il s'agit d'une évaluation considérée comme représentative de la tendance moyenne.

Nous venons de mentionner les principales sources d'erreur et d'imprécision de nos données mais la mouvance perpétuelle des faits économiques est un autre facteur d'imprécision des résultats des études empiriques. L'information économique repose sur des faits toujours uniques, il n'est pas possible en économie de retrouver des conditions de laboratoire où un phénomène peut être isolé et observé plusieurs fois, même si en dernière analyse il ne s'agit jamais du même événement (1). Les divergences constatées entre deux séries d'observations résultent soit d'imprécisions ou d'erreurs mentionnées plus haut, soit de l'évolution du phénomène étudié. Il n'existe pas en économie de loi stable ; W. LEONTIEF note qu'"à défaut d'un apport de données nouvelles, le stock existant d'information devient rapidement périmé. Quel contraste avec la physique, la biologie et même la psychologie où la grandeur de la plupart des paramètres est pratiquement constante et où les expérimentations et les mesures essentielles n'ont pas besoin d'être répétées chaque année" (2). Il est évident que notre recherche aurait beaucoup gagné si nous avions bénéficié de données à deux ou trois époques différentes. Mais le coût d'une telle investigation statistique est très élevé et actuellement il n'est pas possible de disposer régulièrement de cette information. Cet approvisionnement systématique est pourtant une voie essentielle bien que fastidieuse dans le progrès de la science économique.

---

(1) HERACLITE disait au Vème siècle avant Jésus-Christ, qu'on ne se baigne jamais dans le même fleuve.

(2) W. LEONTIEF, op. cit. p. 18.

CHAPITRE V

LA CONSTITUTION DES DONNÉES

Dans le cadre des travaux préparatoires du VIème Plan, il a été décidé d'entreprendre une vaste campagne d'enquêtes sur les transports de voyageurs afin de prévoir leur perspective d'évolution et de permettre une meilleure orientation de la politique des transports. Ce programme d'enquêtes a été réalisé sous l'égide du SAEI (1) en 1967, 1968 et 1969 pour les modes de transports principaux : l'air, le rail et la route (automobile). Quel que soit le mode, on a adopté la méthode directe d'enquêtes auprès des personnes en déplacement.

L'une des tâches délicates de l'étude a été d'établir un fichier unique de données homogènes en regroupant l'enquête routière et l'enquête ferroviaire. Ce travail a été accompli avec le souci de conserver le maximum d'informations. En particulier, il fallait qu'il existe pour chaque variable du voyageur routier une variable correspondante du voyageur ferroviaire : ceci nous a contraint à supprimer un grand nombre de variables de l'enquête ferroviaire qui n'avaient pas de correspondantes dans l'enquête routière. Il fallait aussi vérifier que les voyageurs avaient eu effectivement la possibilité de choisir entre les deux modes : cette contrainte a écarté du champ de notre étude tous les voyageurs ferroviaires qui ont déclaré ne pas disposer de voiture. Il est évident que le défaut de voiture peut être le fait d'un choix délibéré en faveur d'un autre mode ; mais cet aspect a été analysé lors de l'étude de la motorisation ; ici nous nous plaçons dans une situation à court terme où le voyageur a la faculté d'utiliser les deux modes. Par contre, on peut penser qu'il n'est personne qui, ayant pris la voiture, n'avait pas la possibilité de prendre le train. Ceci ne veut pas dire qu'il n'y a pas de captifs de la voiture, mais ce sont des captifs psychologiques et non des captifs physiques. Nous n'avons donc éliminé aucune personne de l'enquête routière. Il fallait enfin s'assurer que les voyageurs appartiennent à un trafic semblable pour les deux modes : cette contrainte impose une définition précise du trafic et de la zone d'attraction.

On pouvait appréhender le trafic suivant la notion origine destination (O-D), c'est-à-dire que l'une des villes de la liaison est à l'origine du déplacement, l'autre en est la destination ; on aurait ainsi une sorte de flux global entre les deux villes. Mais cette notion nous paraît beaucoup plus pauvre que celle de lieu de domicile-lieu de destination finale (LD-DF), qui a l'avantage de donner des renseignements

---

(1) SAEI : Service des Affaires Economiques et Internationales du Ministère de l'Equipement.

plus complets sur l'individu. Le domicile en particulier est une notion stable qui peut expliquer beaucoup plus le choix que l'origine du voyage. En fait nous n'avons retenu ni l'une ni l'autre de ces deux solutions, mais les deux à la fois. Seules ont été conservées les personnes dont le déplacement origine-destination correspondait à un déplacement lieu de domicile-lieu de destination finale, ou inversement. Cette solution, adoptée afin de garder l'information la plus riche possible présente l'inconvénient d'éliminer des personnes qui avaient pour domicile l'une des villes de la liaison et pour lieu de destination principale l'autre ville mais qui ont effectué le voyage en plusieurs étapes. Cependant, on peut considérer qu'on élimine ainsi des personnes captives de la voiture puisque le train ne présente pas la même souplesse que la voiture pour effectuer des voyages à plusieurs étapes. Enfin, nous avons préféré le flux entre agglomérations (unités urbaines au sens de l'INSEE) plutôt que le flux entre zones de peuplement industriel et urbain car il n'existe qu'une gare principale dans l'agglomération pour les liaisons étudiées (sauf Lille), ce qui est rarement le cas pour la zone de peuplement industriel et urbain.

Le tableau V.1 donne l'évolution des données de l'échantillon à chacune des étapes de la fusion. La structure finale appelle une remarque : les deux modes de transport se partagent à peu près à égalité le marché du transport que nous avons défini :

- période hors été,
- distances comprises entre 130 et 600 kilomètres,
- agglomération à agglomération.

TABLEAU V.1

La fusion des deux enquêtes

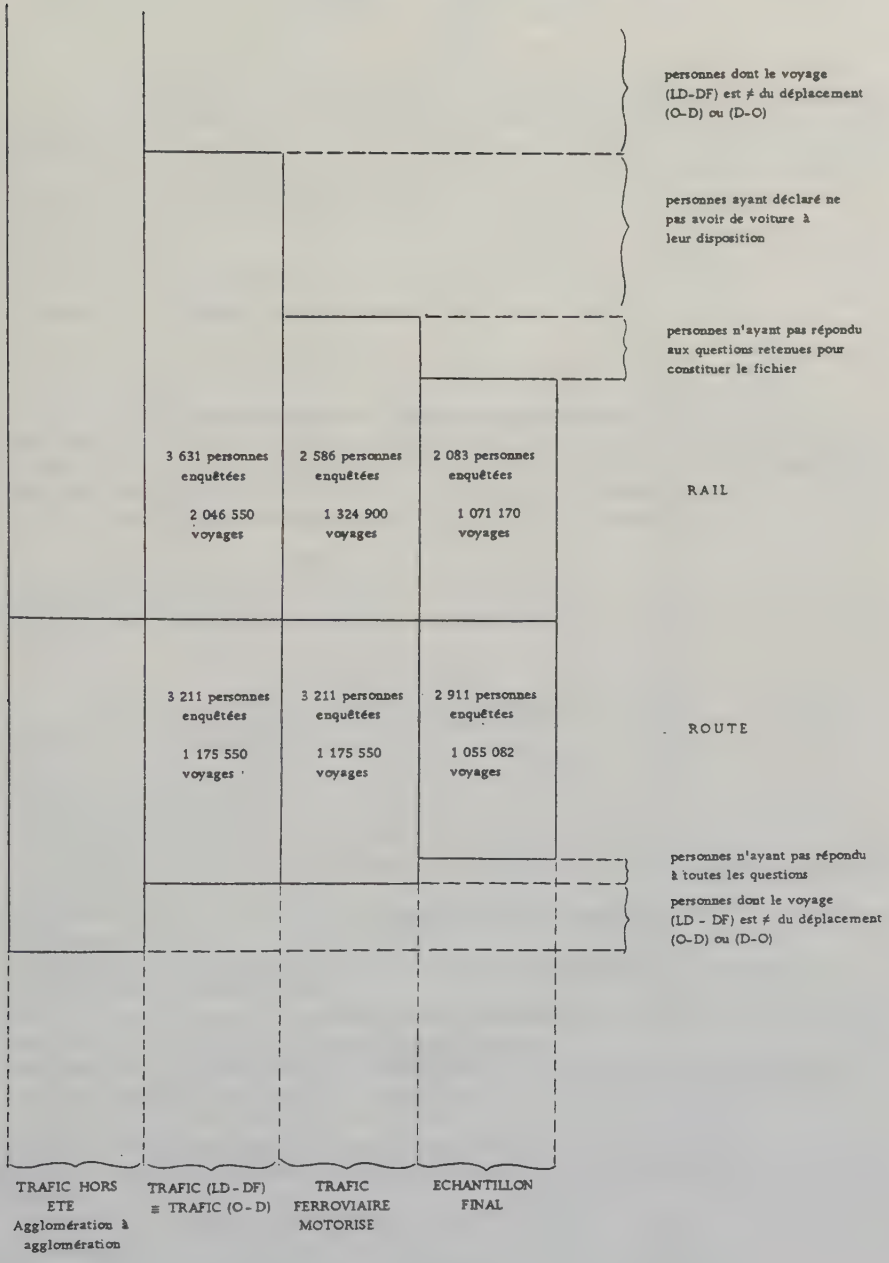


TABLEAU V.2

La répartition des personnes interrogées sur les douze liaisons de l'échantillon

	Bordeaux	Lille	Lyon	Nantes	Strasbourg	Metz	Nancy	Clermont-Fd	Dijon	Angers	Amiens	Arras	TOTAL
Motif professionnel	245	570	346	278	344	257	262	99	143	78	265	123	3 010
- Fer	194	189	226	158	231	128	80	54	77	40	45	56	1 478
- Route	51	381	120	120	113	129	182	45	66	38	220	67	1 532
Motif personnel	143	306	191	169	142	189	204	120	88	127	218	87	1 984
- Fer	85	53	96	47	68	65	27	51	27	38	24	24	605
- Route	58	253	95	122	74	124	177	69	61	89	194	63	1 379
Tous motifs	388	876	537	447	486	446	466	219	231	205	483	210	4 994
- Fer	279	242	322	205	299	193	107	105	104	78	69	80	2 083
- Route	109	634	215	242	187	253	359	114	127	127	414	130	2 911

I - LES VARIABLES CARACTÉRISANT L'INDIVIDU

LE LIEU DE DOMICILE

Pour chaque personne enquêtée on sait quelle est la commune de son domicile habituel. L'intérêt de cette information est de voir si la localisation du domicile a une influence sur le choix du mode de transport. Elle permet, en particulier, de distinguer les parisiens des provinciaux, et parmi les parisiens ceux qui habitent Paris de ceux qui habitent la banlieue.

LE NOMBRE DE PERSONNES DE LA FAMILLE

On ne compte ici que les personnes à charge vivant sous le même toit. L'intérêt de cette variable réside dans la possibilité de passer de la notion de revenu de la famille à celle de revenu de l'individu et dans la possibilité de calculer le taux de réduction auquel a droit le voyageur sur le réseau SNCF.

LA CATEGORIE SOCIO-PROFESSIONNELLE

La classification retenue est celle de la SETEC, en dix catégories ; elle permet de distinguer :

- agriculteurs (exploitants et salariés agricoles),
- étudiants - élèves,
- commerçants, industriels, artisans, patrons pêcheurs,
- professions libérales, professeurs, ingénieurs, cadres administratifs supérieurs,
- cadres moyens, instituteurs, services médicaux et sociaux, techniciens,
- employés,
- ouvriers, contremaîtres, marins et pêcheurs, mineurs, manoeuvres,
- militaires du contingent,
- autres actifs (gens de maison, femmes de ménage, autres personnels de service, artistes, clergé, armée et police),
- non actifs (anciens agriculteurs, retirés des affaires, retraités du secteur public, anciens salariés, autres, ...).

Des regroupements seront possibles : en particulier, on pourra étudier la différence de comportement entre les salariés et les non salariés.

LE REVENU

Cette variable montre un autre aspect de la différence de comportement en fonction du niveau social. En particulier, nous avons vu dans la première partie que le revenu était révélateur de la valeur du temps et qu'en ce sens, il est essentiel de l'intégrer dans les données. Dans notre étude, on pouvait hésiter entre deux types de revenus : le revenu familial ou le revenu par unité de consommation. Les deux informations ont été introduites et notre choix s'effectuera en fonction des résultats de l'analyse.

Dans les deux enquêtes, on a demandé "quel était le revenu annuel de la famille ?". Malheureusement, les classes de revenus offertes aux personnes enquêtées n'ont pas été les mêmes dans les deux enquêtes. Il a fallu adopter de nouvelles tranches moins fines que les précédentes. On a pu ainsi définir huit classes de revenus annuels :

1 - moins de 6 000 F
2 - de 6 000 à 10 000 F
3 - de 10 000 à 15 000 F
4 - de 15 000 à 20 000 F
5 - de 20 000 à 30 000 F
6 - de 30 000 à 50 000 F
7 - de 50 000 à 100 000 F
8 - plus de 100 000 F

On a élaboré cette variable à partir de la précédente en prenant comme convention que toute personne supplémentaire dans une famille représente 0,6 unité de consommation. Ainsi, une famille composée de :

- 1 personne représente 1 unité de consommation
- 2 personnes représentent 1,6 unité de consommation
- 3 personnes représentent 2,2 unités de consommation
- 4 personnes représentent 2,8 unités de consommation
- 5 personnes représentent 3,4 unités de consommation

La codification du revenu par unité de consommation a été réalisée à partir du tableau suivant :

TABLEAU V.3

Le revenu par unité de consommation

Nombre de personnes de la famille	Revenu de la famille / Nombre d'unités de consommation	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	3 000	8 000	12 500	17 500	25 000	40 000	75 000	120 000
2	1,6	1 875	5 000	7 812	10 937	15 625	25 000	46 875	75 000
3	2,2	1 363	3 636	5 681	7 954	11 365	18 181	34 096	54 545
4	2,8	1 071	2 857	4 464	6 250	8 928	14 285	26 785	42 857
5	3,4	882	2 352	3 676	5 147	7 352	11 764	22 058	35 291
6	4	750	2 000	3 125	4 375	6 250	10 000	18 750	30 000
7 et +	4,6	652	1 739	2 717	3 804	5 434	8 695	16 304	26 086

Chaque valeur contenue dans le tableau est le centre de classe de revenu par tête défini par le revenu de la famille et le nombre d'unités de consommation. Par exemple, si le revenu d'une famille est codé 5 et si le nombre d'unités de consommation est égal à 4, la classe du revenu par unité de consommation ainsi défini est :

$$\frac{20\ 000}{4} = 5\ 000 \leqslant \text{R.U.C.} < \frac{30\ 000}{4} = 7\ 500$$

La valeur du centre de classe est alors :

6 250 francs.

LE NIVEAU DE REDUCTION SNCF

On peut distinguer deux notions de réduction : la réduction effective et la réduction passive. La première est celle qui résulte de l'ensemble des réductions que l'on peut obtenir sur le réseau SNCF, soit en raison de la fréquence des voyages, soit en raison du statut familial ou professionnel. La seconde ne concerne que la réduction à laquelle on a droit indépendamment du nombre de voyages que l'on fait. Or ces deux notions n'ont pas été bien distinguées dans les deux enquêtes.

Pour l'usager de la route, on fait l'hypothèse que le taux qu'il déclare est un taux de réduction passive. On considère, en effet, que s'il était titulaire d'une carte d'abonnement ou d'une carte demi-tarif, il est peu vraisemblable qu'il emprunte la route.

Pour la clientèle ferroviaire, on dispose d'une information directe concernant le niveau de réduction. Mais il s'agit ici de la réduction effective, notion qui n'est pas directement comparable avec celle de l'enquête routière ; de plus, elle intègre des caractéristiques du voyage autant que du voyageur. Elle correspond à la réduction passive pour tous les types de billet, sauf pour les cartes d'abonnement (Titre I) et les cartes demi-tarif (Titre III). La réduction obtenue à la suite d'un abonnement est une réduction recherchée par l'individu. Pour faire apparaître la notion de réduction passive à laquelle ont droit les titulaires d'abonnements, on leur affecte un taux de réduction en fonction du nombre de personnes de la famille d'après le tableau suivant :

Nombre de personnes de la famille	Taux de réduction passive
< 5	0 %
= 5	30 %
= 6	40 %
= 7	50 %
⩾ 8	75 %

Ce tableau a été élaboré à partir du tarif spécial applicable aux familles nombreuses (Titre I - Chapitre I - Article 1).

II - LES VARIABLES CARACTÉRISANT LE VOYAGE

LA LOCALISATION DU VOYAGE

Quatre notions caractérisent la localisation du voyage :

- le lieu de domicile,
- le lieu de destination principale (ou finale),
- l'origine,
- la destination.

LA FREQUENCE

Dans l'enquête routière, la fréquence du voyage est exprimée sous trois formes différentes, qui s'excluent : elle peut être hebdomadaire, mensuelle ou annuelle. Dans l'enquête ferroviaire, seule la forme annuelle a été adoptée. On a donc effectué une modification des données routières afin d'obtenir une fréquence annuelle pour l'ensemble des individus. La règle suivante a été adoptée :

- fréquence mensuelle x 11 = fréquence annuelle (nombre de voyages par an),
- fréquence hebdomadaire x 48 = fréquence annuelle.

Dans le cas où elle est supérieure à 99, on inscrit 99 comme fréquence annuelle.

LA DUREE DU SEJOUR

Elle a été calculée de la même manière pour les deux modes. Il s'agit du nombre de nuits passées hors du domicile : on a distingué neuf durées selon le schéma suivant :

	Nombre de nuits hors du domicile
1	0
2	1
3	2
4	3 ou 4
5	5 à 9
6	10 à 19
7	20 à 24
8	25 à 39
9	≥ 40

LE NOMBRE DE PERSONNES EN VOYAGE

Il s'agit du nombre de personnes voyageant ensemble, qu'elles appartiennent ou non à une même famille. Cette variable joue un rôle très important dans la détermination du coût du voyage. On a distingué neuf tailles possibles : 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 personnes et plus.

LE TYPE DU VOYAGE

Dans les deux enquêtes, on a distingué deux types de voyage : les voyages "aller et retour" qui s'effectuent entre le lieu de domicile et le lieu de destination principale et les voyages "circuit" qui présentent plusieurs destinations. Cependant, le trafic que nous avons pris en compte nous a conduit à éliminer la plupart des voyages "circuit". Cette perte d'informations n'est pas très grave puisque la voiture, par sa souplesse d'utilisation, est beaucoup mieux adaptée au voyage "circuit", on a donc éliminé des personnes captives de la voiture, c'est-à-dire des personnes qui n'avaient pas vraiment le choix.

LE MOTIF

Une distinction désormais classique dans les études de transport sépare les voyages professionnels des voyages personnels. Dans les deux enquêtes, cette distinction a été affinée, mais malheureusement de manière un peu différente. La fusion des deux enquêtes nous a permis dans ces conditions de faire la décomposition suivante en fonction du motif :

1er niveau	2ème niveau
Voyages professionnels	Voyage quotidien domicile - travail
	Autres voyages professionnels
Voyages personnels	Tourisme - promenade
	Visite à parents, amis,...
	Autres voyages personnels

LA DISTANCE

La distance est une caractéristique du voyage et nous avons vu que certains auteurs en ont fait une variable fondamentale du choix du mode de transport (1). Cette variable ne figure ni dans l'enquête routière, ni dans l'enquête ferroviaire mais elle peut se constituer facilement à l'aide des variables de localisation. En fait, nous avons calculé deux distances pour chaque personne interrogée. L'une est une distance par la route, calculée entre la commune du domicile et celle de la destination principale en prenant le parcours le plus simple. L'autre est la distance ferroviaire entre la gare du lieu de domicile et la gare du lieu de destination (2).

(1) *R. GRONAU, op. cit.*

(2) *Cf. R. LANG, Thèse, op. cit. annexe IV E.*

III - LES VARIABLES CARACTERISANT L'OFFRE DE TRANSPORT

Un mode de transport se caractérise vis-à-vis du voyageur par trois attributs : le temps du voyage, le coût et le confort. Si les deux premiers sont parfaitement quantifiables, le troisième s'apprécie de façon plus subjective, on n'a donc pas pu en tenir compte si ce n'est par la fréquence ferroviaire offerte et les temps et coût d'accès au terminal. Mais ces caractéristiques ne sont qu'un aspect du confort : la disponibilité et l'accessibilité du transport ferroviaire.

L'une des carences majeures du fichier obtenu par la simple fusion des deux enquêtes réside dans l'insuffisance des caractéristiques d'offre, en particulier de l'offre routière. Pour pallier cette insuffisance, nous avons reconstitué un certain nombre de variables susceptibles d'améliorer la connaissance de l'offre de transport qui se présentait au voyageur. Lorsque plusieurs modalités étaient possibles, elles ont toutes été introduites. Le choix entre ces diverses modalités s'est effectué au cours de l'analyse. Malgré leur imprécision ces variables sont indispensables dans une telle étude car ce sont les seules variables d'action d'une politique des transports dont le but serait de modifier la répartition du trafic entre le train et la voiture. Pour chaque individu de l'enquête, on a introduit les variables d'offre du mode qu'il a choisi, mais aussi les variables d'offre de l'autre mode ; il s'agira en effet de rechercher si les raisons pour lesquelles tel mode n'a pas été choisi proviennent d'une situation d'offre différente.

LES TEMPS DE TRANSPORT

1 - L'élaboration des temps routiers

Nous ne disposons malheureusement d'aucune donnée concernant les temps de transport routier dans l'enquête ; de plus, nous n'avons pas pu obtenir de renseignements globaux sur aucune des liaisons. Nous avons donc utilisé une méthode générale de calcul des temps de parcours sur route, mise au point par le SETRA (1) (2). Cette méthode suppose que la vitesse d'un véhicule sur route dépend de la largeur de la chaussée, du débit horaire et d'un coefficient de visibilité. Le résultat que l'on obtient ainsi fournit, non pas un temps physique observé, mais un temps économique représentant une moyenne journalière dans l'hypothèse où le trafic horaire est égal au 1/15 du trafic journalier. Nous avons également tenu compte de la perte de temps occasionnée par la traversée d'agglomérations.

Naturellement les résultats obtenus ne donnent qu'un temps moyen par rapport auquel deux biais peuvent intervenir. D'une part,

---

(1) SETRA : "Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes".

(2) Cette méthode est présentée dans l'annexe IV F, R. LANG, thèse, op. cit.

nous n'avons pas tenu compte de la puissance du véhicule ; il est vraisemblable qu'un même individu ne mettra pas le même temps s'il dispose d'une 2 CV ou d'une voiture sportive. D'autre part, chaque individu a une façon de conduire propre, de sorte que deux individus, même s'ils disposent de la même voiture, ne mettront pas le même temps. Les temps obtenus correspondent donc a un véhicule de puissance moyenne et à un conducteur de comportement moyen.

2 - Les temps ferroviaires (1)

Il faut distinguer les usagers du rail et les usagers de la route. Pour les premiers, il est possible de calculer les temps réels de transport directement à partir de l'enquête. Pour les seconds, les variables ont du être reconstituées à partir de données extérieures aux enquêtes.

a - Temps ferroviaire des usagers du rail

Il s'obtient facilement pour chaque individu, par soustraction de l'heure de départ à l'heure d'arrivée.

b - Temps ferroviaire des usagers de la route

Pour chaque usager de la route, on introduit une variable temps qui aurait été la sienne s'il avait pris le train. L'hétérogénéité du parcours en train nous a obligé à introduire deux types de variables ferroviaires, celles qui correspondent à la première classe et celles qui correspondent à la deuxième classe.

Sauf pour les liaisons où il n'existe pas de train à première classe unique, le temps de parcours est la moyenne arithmétique des temps de parcours de ces trains à première classe unique. Pour Paris-Metz, on a fait la moyenne arithmétique de tous les trains à supplément. Pour Paris-Angers et Paris-Nantes, il n'y a aucune différence entre le temps d'un train première classe et le temps d'un train deuxième classe.

Le temps ferroviaire en deuxième classe est le temps moyen de tous les trains première/deuxième classes qui effectuent le parcours de jour. Il a en effet semblé incorrect de tenir compte du temps des trains de nuit qui ont souvent une marche ralentie afin d'arriver seulement en début de matinée à destination.

(1) Cf. R. LANG, thèse, op. cit. annexe IV G.

LES COUTS DE TRANSPORT

1 - Les coûts routiers (1)

Dans l'enquête routière aucun renseignement n'était fourni concernant le coût de transport en voiture. Une seule question a été posée pour caractériser le type de véhicule employé ; les réponses à cette question permettent de faire entrer les véhicules dans trois catégories :

- les petites voitures de 2 à 4 chevaux,
- les voitures moyennes de 5 à 7 chevaux,
- les grosses voitures qui ont plus de 7 chevaux.

Ces données permettent de calculer les coûts de voyage en voiture en fonction de la catégorie du véhicule. Pour chaque groupe, on aurait pu calculer une moyenne pondérée de l'ensemble des véhicules, mais cette méthode est à la fois trop longue et trop peu opérationnelle ; on a préféré choisir arbitrairement un modèle pour caractériser chacun des groupes. Ce choix est bien sûr arbitraire, mais on s'est efforcé de le faire de telle manière que le modèle choisi soit représentatif du groupe, du moins sous l'angle des coûts. L'Ami 6 représente les petites voitures, la Peugeot 204 les moyennes, la Renault 16 les grosses voitures.

Un problème délicat et fondamental dans toute étude qui fait intervenir le coût de la voiture est le choix entre diverses notions de coût. Faut-il affecter au coût du voyage une part de l'amortissement ou bien faut-il ne considérer que le coût de l'utilisation de la voiture pour le voyage considéré ? Nous avons introduit trois notions de coût différentes, en espérant que l'analyse fasse apparaître le coût perçu par l'usager.

Les trois notions de coût ont été élaborées à partir de la formule établie par l'Auto-Journal en 1961 (1) :

- le premier est le coût marginal d'utilisation imputable aux seules dépenses de carburant,
- le second est le coût du kilomètre roulant,
- le troisième est le coût effectif du kilomètre, toutes charges comprises.

Pour 1968, on a obtenu les résultats suivants :

	Coût du carburant	Coût du km roulant	Coût total du km
Ami 6	0,0672	0,1275	0,340
Peugeot 204	0,0997	0,1736	0,445
Renault 16	0,1102	0,1887	0,502

(1) Cf. R. LANG, thèse, op. cit. annexe IV H.

Il suffit de multiplier les chiffres de ce tableau par la distance routière de la liaison pour obtenir le coût du voyage. A ce coût il a fallu ajouter le prix des péages autoroutiers sur les liaisons qui comportaient la possibilité de prendre l'autoroute.

2 - Les coûts ferroviaires (1)

a - Coût ferroviaire des usagers du rail

L'enquête ferroviaire permet de retrouver le prix effectivement versé par le voyageur selon la formule générale de tarification suivante :

$$\text{Prix du billet} : \left[TF + DIS \times PK \right] \left[1 - RED \right] + SJ + SN$$

où : TF = taxe forfaitaire de prise en charge
DIS = distance ferroviaire parcourue
PK = prix kilométrique variable suivant la classe choisie
RED = réduction à laquelle le voyageur a droit
SJ = supplément de jour
SN = supplément de nuit.

b - Coût ferroviaire des usagers de la route

On a tenté d'évaluer le prix du voyage en train d'une personne qui a pris la voiture. Naturellement, ce prix peut varier de façon importante suivant la classe et le type de train que l'individu aurait choisi. Afin de pouvoir étudier le maximum de combinaisons possibles, on a introduit deux coûts ferroviaires : le premier calculé comme si le voyage avait été effectué en première classe et le second comme si le voyage avait été effectué en seconde classe.

Pour établir ces coûts, on a supposé un comportement rationnel du voyageur de telle manière qu'en prenant le train il aurait cherché à minimiser son coût. Deux types de variables ont une influence sur le prix du voyage :

- le niveau de réduction auquel il a droit sur la SNCF. Nous avons supposé que l'automobiliste a répondu à cette question en tenant compte de la réduction dont il pourrait bénéficier indépendamment de la fréquence du voyage ;
- le nombre de voyages qu'il effectue au cours d'une année. A partir d'un certain nombre de voyages, le voyageur aurait eu intérêt à prendre, soit une carte demi-tarif, soit une carte d'abonnement.

3 - La fréquence ferroviaire offerte (2)

Cette variable a été introduite afin de mieux caractériser l'influence de l'offre ferroviaire sur le choix du mode. Diverses modalités étaient possibles : on pouvait calculer l'écart moyen entre deux

---

(1) Cf. R. LANG, thèse, op. cit. annexe IV I.

(2) Cf. R. LANG, thèse, op. cit. annexe IV J.

trains sur chacune des liaisons, ou encore le plus grand écart. En fait, nous avons retenu deux modalités plus simples qui semblent suffisantes pour rendre compte de l'influence de l'offre. On a d'abord calculé le nombre moyen de trains qui effectuent quotidiennement le parcours et on obtient ainsi la fréquence totale offerte sur la liaison. Ensuite, nous nous sommes imposé des contraintes, en calculant le nombre moyen de trains qui effectuent quotidiennement le parcours mais quittent la ville de départ après 6 heures et atteignent la ville d'arrivée avant 24 heures. Le but de ce second calcul est d'éliminer en partie des trains dont la fonction principale n'est pas de desservir la ville, mais des villes ou des régions situées au-delà. Comme les douze liaisons étudiées se situent entre 130 et 560 kilomètres autour de Paris, la plupart des trains de nuit qui desservent ces villes proviennent ou vont dans des régions encore plus éloignées de Paris ; ceci peut justifier que la fréquence offerte ressentie par le voyageur, ou la disponibilité, corresponde au nombre de trains qui circulent de jour.

LES TEMPS ET LES COUTS TERMINAUX

Il est indispensable d'intégrer des variables qui situent l'accessibilité du train. Celle-ci peut être mesurée par le temps d'accès à la gare et aussi par le coût de cet accès. L'enquête ferroviaire nous fournit tous les temps de transport terminaux à l'origine comme à destination ; on dispose également du mode de transport emprunté, ce qui permet d'élaborer sans difficulté le coût du transport terminal de personnes qui ont choisi le chemin de fer.

Mais, il est également très important de situer l'accessibilité du train pour ceux qui ont choisi la voiture car il est possible que cette variable soit déterminante dans le choix du mode de transport. Il a donc fallu élaborer des variables symétriques pour les usagers de la route, mais cette élaboration ne peut pas se faire directement et, en particulier, il est nécessaire de disposer d'une étude approfondie des transports à l'intérieur de chaque agglomération. A la suite de plusieurs recherches, il s'est avéré que seule la région parisienne avait fait l'objet d'une étude de transport assez complète pour intégrer des temps et des coûts de transports terminaux des voyageurs routiers.

1 - Les temps et coûts terminaux en province

a - Les temps terminaux

- Pour les usagers du rail

Les temps terminaux sont directement obtenus à partir de l'enquête SETEC. Pour le temps d'origine, on fait la somme du temps d'accès à la gare (question 17) et du temps d'attente en gare (question 14). Pour le temps terminal à destination, on retient simplement la réponse à la question 24 (1).

---

(1) Cf. questionnaire ferroviaire. R. LANG, thèse, op. cit., annexe IV D.

- Pour les usagers de la route

Comme on ne disposait d'aucune étude de transport dans les agglomérations de province, on n'a pas pu introduire des temps individualisés. On a alors calculé pour chaque agglomération des temps moyens à partir des résultats de l'enquête ferroviaire. Le but n'est pas de faire de ce temps moyen une variable explicative mais de permettre d'obtenir un temps global de voyage en train qui ne soit pas systématiquement sous-estimé par rapport au temps en voiture. Au cours de notre analyse, nous n'accorderons donc aucune importance à cette variable prise isolément.

b - Les coûts terminaux

Pour les usagers du fer comme pour les usagers de la route, le coût du transport terminal en province a été systématiquement négligé car il était bien difficile d'en faire une évaluation correcte. On peut seulement dire que ce coût est assez faible par rapport au coût global du voyage, sauf dans le cas où le voyageur aurait pris un taxi. Le fait de le négliger revient à supposer que l'individu ne mesure l'accessibilité du train en province qu'en termes de temps.

2 - Les temps et les coûts terminaux dans la région parisienne

a - Pour les usagers du rail

- Les temps terminaux

On procède de la même manière que pour les temps terminaux en province en utilisant les temps déclarés dans l'enquête ferroviaire. Mais en plus, on introduit ces mêmes temps calculés à partir de l'Etude Globale du SRERP (1).

- Les coûts terminaux

On a distingué trois coûts en fonction de trois types de modes de transport :

- le coût terminal en voiture particulière,
- le coût terminal en transport en commun,
- le coût terminal en taxi.

Pour les deux premiers, on a utilisé les coûts calculés dans l'Etude Globale (2). Toutefois, dans cette étude, les coûts du transport en commun tiennent compte d'un taux de réduction qui n'est applicable qu'aux migrants journaliers et ne concerne donc pas la majeure partie des personnes interrogées. Pour éliminer en partie ce rôle, le coût du transport en commun a été multiplié par 1,5.

---

(1) Service Régional de l'Equipement de la Région Parisienne.

(2) Cf. R. LANG, thèse, op. cit., annexe IV K.

b - Pour les usagers de la route

Les temps et les coûts terminaux sont ceux de l'Etude Globale. Comme on ne peut prévoir a priori si le mode utilisé est la voiture particulière, on a introduit deux types de temps et trois sortes de coût :

- temps terminal en voiture,
- temps terminal en transport en commun,
- coût terminal en transport en commun,
- coût en voiture particulière,
- coût en taxi.

CHAPITRE VI

LA STRUCTURE DE LA CONCURRENCE RAIL - ROUTE

Les variables du fichier ont du être rassemblées en deux groupes distincts : les variables caractérisant les individus et celles qui caractérisent le voyage. Avec les caractéristiques du voyageur, on essaie d'analyser comment la situation personnelle, familiale, géographique, entrent dans l'explication du choix. Le jeu de ces variables donne aussi une image de l'importance de la prédétermination d'un individu vis-à-vis de l'un ou l'autre mode indépendamment du voyage qu'il doit accomplir et de l'offre de transport qu'il peut rencontrer pour satisfaire son désir de voyage. L'introduction des caractéristiques du voyage va permettre d'analyser comment le fait d'accomplir tel voyage bien particulier peut influencer le choix du mode de transport. En particulier, ces variables montrent comment une même personne peut effectuer un choix différent suivant le motif, la durée ou la fréquence de son voyage.

Ces deux groupes de variables fournissent une explication du choix entre le train et la voiture, sans que l'on tienne compte des caractéristiques spécifiques de ces deux modes de transport. En fait, il serait faux de croire qu'à ce niveau de l'analyse, les caractéristiques modales n'interviennent pas, elles ne peuvent qu'intervenir mais sous l'aspect des images de voyage par l'un ou l'autre mode. Un voyage en voiture s'accompagne, chez l'individu, d'une perception de certains avantages ou inconvénients qui motiveront son choix ; par exemple, si les personnes dont le revenu est élevé choisissent plus volontiers le train que les autres, c'est qu'elles ont une image du train améliorée par les options que leur revenu permet d'envisager. Les résultats obtenus ne signifient donc pas qu'il y a prédétermination absolue du choix, mais ils donnent une explication de la concurrence entre le train et la voiture, compte tenu de l'image respective des deux modes de transport. Une modification de l'image du train ou de la voiture peut amener certaines personnes à modifier leur choix pour effectuer un même voyage.

I - L'INFLUENCE DES CARACTÉRISTIQUES DU VOYAGEUR SUR LE CHOIX DU MODE DE TRANSPORT

La constitution d'un modèle nécessite d'abord de déterminer le nombre de variables et d'en définir une codification. Dans nos modèles, la variable à expliquer est le mode choisi ; elle a été codée 1 lorsque le train a été choisi et codée 0 lorsque la voiture a été choisie (1).

1 - LA RECHERCHE D'UN MODELE EXPLICATIF

11 - Les variables introduites

Le fichier nous permet de construire un modèle explicatif du choix du mode de transport à l'aide de cinq variables caractérisant l'individu : le lieu de domicile, la taille de la famille, la réduction passive, la catégorie socio-professionnelle et le revenu. La codification retenue pour introduire le lieu de domicile repose sur l'idée que les

---

(1) Cette précision nous permet d'analyser le rôle du signe des coefficients des variables dans la fonction de probabilité. Rappelons que la probabilité de choix s'écrit, dans l'analyse logit :

$$P\ (train) = \frac{e^{a_0 + a_1 X_1 + \ldots + a_i X_i + \ldots + a_n X_n}}{1 + e^{a_0 + a_1 X_1 + \ldots + a_i X_i + \ldots + a_n X_n}}$$

où X_i est la variable i

a_i est son coefficient.

Lorsque la variable i est codée de façon croissante, le signe positif du coefficient indique que la probabilité de prendre le train augmente lorsque la valeur de la variable augmente. En effet, le numérateur et le dénominateur s'accroissent de la même quantité, mais comme le numérateur est toujours inférieur de 1 au dénominateur, il s'accroît relativement plus vite que le dénominateur. A l'inverse, lorsque le coefficient est affecté d'un signe négatif, il indique que la probabilité de prendre le train décroît lorsque la valeur de la variable s'accroît.

Dans l'analyse probit, la probabilité de choix du train est :

$$P\ (train) = \int_{-\infty}^{a_0 + a_1 X_1 + \ldots + a_i X_i + \ldots + a_n X_n} = G(X)$$

Lorsque G(X) s'accroît, la probabilité de choix du train s'accroît également.

parisiens peuvent ne pas avoir le même comportement que les provinciaux vis-à-vis du choix du mode de transport. La variable "lieu de domicile" (LDOM) prend la valeur 1 si le domicile du voyageur est à Paris ou dans la région parisienne, et la valeur 2 si le domicile est en province. La taille de la famille (NPERSF) prend la valeur correspondant au nombre de personne de la famille jusqu'à neuf ; si le nombre de personnes est supérieur à neuf, la variable prend toujours la valeur 9. Enfin, pour la réduction (REDUC), nous avons adopté la codification qui consiste à diviser le taux de réduction par 100.

Les deux dernières variables, la CSP et le revenu n'ont pas de codification unique évidente. Ainsi on peut hésiter entre la valeur du centre de classe et son logarithme, de même qu'entre le revenu de la famille (REVEF) et le revenu par unité de consommation (REVET). L'introduction de la CSP pose un problème de nature différente. Il était impossible d'introduire la CSP en une seule variable sans impliquer une hiérarchie a priori vis-à-vis du choix du mode de transport. On a introduit autant de variables qu'il y a de CSP d'après le schéma suivant.

Si la personne appartient à la CSP des :

- agriculteurs	AGRI = 1	Autres = 0
- étudiants	ETUD = 1	Autres = 0
- patrons, ...	PATR = 1	Autres = 0
- professions libérales, ...	PROF = 1	Autres = 0
- cadres moyens, ...	CAD.M = 1	Autres = 0
- employés	EMPL = 0	Autres = 0
- ouvriers	OUVR = 1	Autres = 0
- militaires	MILI = 1	Autres = 0
- autres actifs	A.ACT = 1	Autres = 0
- non actifs	N.ACT = 1	Autres = 0

Il était nécessaire que l'une des CSP soit toujours nulle, sinon on introduit une liaison linéaire entre les variables, ce qui rend impossible la résolution du système. Cependant, le choix de cette CSP ne doit pas être laissé au hasard. En effet, si l'on choisit une CSP dont la taille est très faible dans notre échantillon, alors la matrice des variances-covariances risque d'être proche d'une matrice singulière. Notre choix s'est porté sur les employés dont l'effectif est assez élevé.

Ces différentes codifications nous ont permis d'établir quatre modèles de base pour analyser l'influence des caractéristiques individuelles.

MODELE 1 (tableau VI.1)

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ LDOM} + a_2 \text{ REVEF} + a_3 \text{ NPERSF} + a_4 \text{ REDUC}$$

MODELE 2 (tableau VI.2)

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ LDOM} + a_2 \text{ Log REVEF} + a_3 \text{ NPERSF} + a_4 \text{ REDUC}$$

MODELE 3 (tableau VI.3)

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ LDOM} + a_2 \text{ Log REVET} + a_3 \text{ NPERSF} + a_4 \text{ REDUC}$$

TABLEAU VI.1

Modèle 1

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ LDOM} + a_2 \text{ REVEF} + a_3 \text{ NPERSF} + a_4 \text{ REDUC}$$

ANALYSE LOGIT

Coefficient	Estimation du coefficient	Test de Student	Seuil de confiance
a_0	- 2,247	- 19,097	999 °/∞
a_1	0,648	10,512	999 °/∞
a_2	$0{,}25 \times 10^{-4}$	17,828	999 °/∞
a_3	$-0{,}30 \times 10^{-2}$	- 0,148	52 °/∞
a_4	1,201	10,075	999 °/∞
Test du ratio de vraisemblance		641,91	
Nombre de degrés de liberté		4	
Seuil de signification		0,001	
Pseudo R^2		0,16	

ANALYSE PROBIT

Coefficient	Estimation du coefficient	Test de Student	Seuil de confiance
a_0	- 1,355	- 19,490	999 °/∞
a_1	0,393	10,510	999 °/∞
a_2	$0{,}14 \times 10^{-4}$	19,040	999 °/∞
a_3	$0{,}65 \times 10^{-3}$	0,053	50 °/∞
a_4	0,730	9,982	999 °/∞
Test du ratio de vraisemblance		629,40	
Nombre de degrés de liberté		4	
Seuil de signification		0,001	
Pseudo R^2		0,16	

ANALYSE DISCRIMINANTE

Coefficient	Estimation du coefficient	Test de Student sur la différence des moyennes	Seuil de confiance	Contribution au carré de la distance
a_0	- 1,972			
a_1	0,658	11,11	999 °/∞	0,1035
a_2	$0{,}25 \times 10^{-4}$	20,72	999 °/∞	0,3643
a_3	$-0{,}17 \times 10^{-2}$	8,74	999 °/∞	- 0,0007
a_4	1,268	11,25	999 °/∞	0,1064
Carré de la distance				0,5735
F (degrés de liberté) (4 - 4989)				173,966
Seuil de signification				0,0001

TABLEAU VI.2

Modèle 2

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ LDOM} + a_2 \text{ Log REVEF} + a_3 \text{ NPERSF} + a_4 \text{ REDUC}$$

ANALYSE LOGIT

Coefficient	Estimation du coefficient	Test de Student	Seuil de confiance
a_0	- 14,331	- 27,458	999 °/∞
a_1	0,724	11,297	999 °/∞
a_2	1,280	25,243	999 °/∞
a_3	- 0,070	- 3,295	999 °/∞
a_4	1,399	11,167	999 °/∞
Test du ratio de vraisemblance		1 016,64	
Nombre de degrés de liberté		4	
Seuil de signification		0,001	
Pseudo R^2		0,24790	

ANALYSE PROBIT

Coefficient	Estimation du coefficient	Test de Student	Seuil de confiance
a_0	- 8,427	- 28,715	999 °/∞
a_1	0,431	11,203	999 °/∞
a_2	0,750	26,139	999 °/∞
a_3	- 0,040	- 3,178	999 °/∞
a_4	0,838	11,113	999 °/∞
Test du ratio de vraisemblance		1 009,65	
Nombre de degrés de liberté		4	
Seuil de signification		0,001	
Pseudo R^2		0,246	

ANALYSE DISCRIMINANTE

Coefficient	Estimation du coefficient	Test de Student sur la différence des moyennes	Seuil de confiance	Contribution au carré de la distance
a_0	- 13,536			
a_1	0,728	11,11	999 °/∞	0,1145
a_2	1,231	28,24	999 °/∞	0,7025
a_3	- 0,059	8,74	999 °/∞	- 0,0238
a_4	1,419	11,24	999 °/∞	0,1191
Carré de la distance				0,9123
F (degrés de liberté) (4 - 4989)				276,7612
Seuil de signification				0,0001

TABLEAU VI.3

Modèle 3

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ LDOM} + a_2 \text{ Log REVET} + a_3 \text{ NPERSF} + a_4 \text{ REDUC}$$

ANALYSE LOGIT

Coefficient	Estimation du coefficient	Test de Student	Seuil de confiance
a_0	- 14,710	- 28,330	999 °/₀₀
a_1	0,734	11,370	999 °/₀₀
a_2	1,309	26,203	999 °/₀₀
a_3	0,259	11,914	999 °/₀₀
a_4	1,346	10,740	999 °/₀₀
Test du ratio de vraisemblance		1 085,70	
Nombre de degrés de liberté		4	
Seuil de signification		0,001	
Pseudo R^2		0,263	

ANALYSE PROBIT

Coefficient	Estimation du coefficient	Test de Student	Seuil de confiance
a_0	- 8,649	- 29,463	999 °/₀₀
a_1	0,436	11,271	999 °/₀₀
a_2	0,768	26,933	999 °/₀₀
a_3	0,152	11,888	999 °/₀₀
a_4	0,807	10,693	999 °/₀₀
Test du ratio de vraisemblance		1 076,57	
Nombre de degrés de liberté		4	
Seuil de signification		0,001	
Pseudo R^2		0,261	

ANALYSE DISCRIMINANTE

Coefficient	Estimation du coefficient	Test de Student sur la différence des moyennes	Seuil de confiance	Contribution au carré de la distance
a_0	- 13,697			
a_1	0,735	11,11	999 °/₀₀	0,1157
a_2	1,234	24,35	999 °/₀₀	0,6382
a_3	0,252	8,74	999 °/₀₀	0,1019
a_4	1,359	11,25	999 °/₀₀	0,1140
Carré de la distance				0,9697
F (degrés de liberté) (4 - 4989)				294,1646
Seuil de signification				0,0001

MODELE 4 (tableau VI.4)

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ LDOM} + a_2 \text{ Log REVEF} + a_3 \text{ NPERSF} + a_4 \text{ REDUC}$$
$$+ a_{51} \text{ AGRI} + a_{52} \text{ ETUD} + a_{53} \text{ PATR} + a_{54} \text{ PROF}$$
$$+ a_{55} \text{ CAD.M} + a_{56} \text{ OUVR} + a_{57} \text{ MILI} + a_{58} \text{ A.ACT} + a_{59} \text{ N.ACT}$$

12 - La qualité de l'ajustement

Pour les quatre modèles, quelle que soit l'analyse, les résultats sont particulièrement satisfaisants puisque dans tous les cas on peut rejeter avec un risque d'erreur inférieur à 1°/oo l'hypothèse où le choix du mode de transport est indépendant des variables explicatives.

Lorsque le nombre de degrés de liberté égale 4, une valeur de χ^2 de 18,5 a une probabilité de 1°/oo d'être dépassée. Or nous obtenons pour le ratio de vraisemblance des valeurs très nettement supérieures, puisque la plus faible, obtenue avec l'analyse probit appliquée au modèle 1 (tableau VI.1) est égale à 629,40. Donc, d'après les analyses probit et logit, on peut admettre avec un risque d'erreur inférieur à 1°/oo que le choix du mode de transport n'est pas indépendant des quatre variables caractéristiques de l'individu. Ce résultat est confirmé par l'analyse discriminante, puisque la plus faible valeur de F est de nouveau celle du modèle 1, mais la probabilité qu'elle soit dépassée est inférieure à 1°/oo ; on peut donc rejeter l'hypothèse où tous les coefficients sont nuls.

Si les trois modèles sont satisfaisants, il faut toutefois remarquer que leurs performances ne sont pas identiques. Ainsi, on constate une amélioration de plus de 50 % du pseudo-R^2 avec les analyses probit et logit lorsque on passe du modèle 1 aux modèles 2 et 3 (tableaux VI.2 et VI.3). Le carré de la distance entre les deux sous-populations de l'analyse discriminante s'accroît également de plus de 50 %. Ces améliorations très nettes conduisent à préférer les modèles 2 ou 3 au modèle 1. Par contre, les résultats du modèle 2 et ceux du modèle 3 sont beaucoup plus proches ; même si ceux du modèle 3 paraissent supérieurs à ceux du modèle 2, on ne peut en tirer aucune conclusion définitive.

Le modèle 4 (tableau VI.4) comme les trois précédents, offre des résultats particulièrement satisfaisants mais nous concentrons notre recherche sur le point de savoir si l'introduction des CSP apporte une information supplémentaire significative. Le ratio de vraisemblance s'est accru de 159,77 ; la différence du nombre de degrés de liberté entre les deux modèles étant égale à 9, l'amélioration de la vraisemblance est très significative, puisqu'une valeur de χ^2 à 9 degrés de liberté égale à 27,9 a une probabilité égale à 1°/oo d'être dépassée. Le choix du mode de transport n'est donc pas indépendant de l'ensemble des neuf variables par lesquelles nous introduisons la CSP.

MODELE 4 - $G(X) = a_0 + a_1$ LDOM $+ a_2$ Log REVEF $+ a_3$ NPERSF $+ a_4$ REDUC $+ a_{51}$ AGRI $+ a_{52}$ ETUD $+ a_{53}$ PATR $+ a_{54}$ PROF

$+ a_{55}$ CAD M $+ a_{56}$ OUVR $+ a_{57}$ MILI $+ a_{58}$ A ACT $+ a_{59}$ N ACT

TABLEAU VI.4

	ANALYSE LOGIT		ANALYSE PROBIT		ANALYSE DISCRIMINANTE		
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student	Test de Student	Estimation du coefficient	Contribution au carré de la distance
a_0	- 13, 860	- 23, 878	- 8, 090	- 24, 438		- 12, 900	
a_1	0, 759	11, 601	0, 452	11, 531	11, 11	0, 762	- 0, 1199
a_2	1, 283	22, 043	0, 745	22, 391	28, 24	1, 213	0, 6919
a_3	- 0, 058	- 2, 668	- 0, 033	- 2, 535	8, 74	- 0, 048	- 0, 0195
a_4	1, 192	9, 167	0, 722	9, 211	11, 25	1, 233	0, 1035
a_{51}	- 1, 402	- 3, 279	- 0, 791	- 3, 248	2, 58	- 1, 253	0, 0084
a_{52}	- 0, 979	- 4, 582	- 0, 547	- 4, 348	1, 59	- 1, 149	0, 0077
a_{53}	- 1, 583	- 8, 795	- 0, 911	- 8, 666	7, 39	- 1, 442	0, 0834
a_{54}	- 0, 441	- 3, 206	- 0, 244	- 2, 933	15, 18	- 0, 341	0, 0704
a_{55}	- 0, 600	- 4, 395	- 0, 354	- 4, 277	5, 62	- 0, 629	- 0, 0434
a_{56}	- 0, 992	- 5, 669	- 0, 603	- 5, 828	11, 12	- 0, 908	0, 0823
a_{57}	0, 585	1, 092	0, 276	0, 936	2, 77	0, 627	0, 0032
a_{58}	- 0, 395	- 2, 119	- 0, 231	- 2, 045	1, 64	- 0, 403	0, 6042
a_{59}	0, 344	1, 724	0, 228	1, 895	6, 23	0, 416	0, 0149
	Test du ratio de vraisemblance 1 173, 37		Test du ratio de vraisemblance 1 167, 66		Carré de la distance 1, 0728		
	Nombre de degrés de liberté 13		Nombre de degrés de liberté 13		F (degrés de liberté) (13, 4980) 99, 9606		
	Seuil de signification 0, 01		Seuil de signification 0, 01		Seuil de signification 0, 0001		
	Pseudo R^2 0, 2818		Pseudo R^2 0, 2806				

MODELE 5 - $G(X) = a_0 + a_1 \text{ LDOM} + a_{21} \text{ REV}(1) + a_{22} \text{ REV}(2) + a_{23} \text{ REV}(3) + a_{24} \text{ REV}(4) + a_{26} \text{ REV}(6) + a_{27} \text{ REV}(7)$
$+ a_{28} \text{ REV}(8) + a_3 \text{ NPERSF} + a_4 \text{ REDUC}$

TABLEAU VI.5

	ANALYSE LOGIT		ANALYSE PROBIT		ANALYSE DISCRIMINANTE		
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student sur la comparaison des moyennes	Contribution au carré de la distance
a_0	- 1,504	11,428	0,899	- 11,511	- 1,308		
a_1	0,779	11,688	0,459	11,582	0,785	11,11	0,1235
a_{21}	- 2,125	- 8,072	- 1,208	- 8,471	- 1,733	9,37	0,0863
a_{22}	- 2,064	- 12,164	- 1,176	- 12,650	- 1,719	15,07	0,2093
a_{23}	- 0,725	- 6,390	- 0,442	- 6,504	- 0,782	8,45	0,0626
a_{24}	- 0,499	- 5,012	- 0,300	- 5,014	- 0,563	8,64	0,0525
a_{26}	1,188	12,669	0,726	12,745	1,474	17,72	0,2871
a_{27}	1,964	15,635	1,177	16,212	2,242	20,58	0,4018
a_{28}	- 0,004	- 0,022	- 0,004	- 0,003	- 0,014	0,90	0,0001
a_3	- 0,092	- 4,129	- 0,544	- 4,126	- 0,091	8,74	- 0,0366
a_4	1,513	11,629	0,896	11,540	1,560	11,25	0,1309
	Test du ratio de vraisemblance 1 340,40		Test du ratio de vraisemblance 1 338,76		Carré de la distance 1,3174		
	Nombre de degrés de liberté 10		Nombre de degrés de liberté 10		F (degrés de liberté) (10-4983) 159,66		
	Seuil de signification 0,001		Seuil de signification 0,001		Seuil de signification 0,0001		
	Pseudo R^2 0,317		Pseudo R^2 0,316				

2 - L'INTERPRETATION DES RESULTATS

21 - L'élévation du revenu favorable au choix du train

Quelle que soit l'analyse, la variable revenu est toujours affectée d'un coefficient significatif et d'un signe constant. Ce coefficient positif indique que ce sont les personnes disposant de revenus élevés qui ont tendance à choisir le train alors que celles qui disposent d'un faible revenu préfèrent la voiture. Toutes les liaisons sur lesquelles nous étudions la concurrence rail-route sont caractérisées par un temps ferroviaire inférieur au temps routier, les seules exceptions possibles concernent les liaisons courtes (exemple Paris-Amiens) lorsque le parcours terminal du voyage ferroviaire est long et s'effectue en sens inverse du parcours principal, du moins partiellement. Il s'ensuit que dans la plupart des cas, les personnes qui veulent économiser du temps doivent choisir le train. Ce sont donc les titulaires de revenus élevés, ceux qui accordent le plus de valeur à leur temps, qui choisissent le train.

Cependant, si les titulaires de revenus élevés sont plus enclins à prendre le train, c'est non seulement parce qu'ils ont une valeur du temps élevée, mais parce qu'ils peuvent payer certains avantages qu'offre le train. Le voyage en chemin de fer est réputé moins éprouvant physiquement et nerveusement, il offre la possibilité d'une activité simultanée (lire, travailler, se restaurer, converser, ..., ne rien faire, ...), une plus grande exactitude dans le respect des horaires, une plus grande sécurité, ... Tous ces avantages semblent supérieurs pour les titulaires de hauts revenus aux avantages du voyage en voiture, parmi lesquels on peut citer une plus grande autonomie de déplacement, le plaisir de conduire, l'absence de promiscuité avec des étrangers.

Mais à travers le revenu on peut aussi déceler l'influence de l'âge : vif chez les jeunes gens récemment motorisés, le plaisir de conduire diminue avec l'âge. Les personnes âgées, plus sensibles à la fatigue, apprécient sans doute la détente que peut fournir un transport guidé comme le train plus que le plaisir de la conduite. Il aurait été intéressant d'analyser séparément le comportement en fonction de l'âge ; malheureusement, cette donnée n'a pas été introduite dans l'enquête routière. De l'étude de Gaston BANDERIER et Pierre GHIGLIAZZA (1) sur les revenus des ménages en 1970 on retient que le revenu moyen par classe d'âge s'élève régulièrement jusqu'à la classe 41-50 ans, au-delà il décroît sensiblement. Toutefois il faut tempérer ce résultat car seules les professions indépendantes font apparaître une diminution nette. Les autres CSP ne connaissent de diminution sensible qu'à partir de 60 ans, exception faite des cadres supérieurs qui connaissent une progression jusqu'à 65 ans. Or les cadres supérieurs et les professions libérales (lesquelles ne sont qu'une faible part des professions indépendantes) représentent avec les cadres moyens plus de 60 % des voyages professionnels et plus de 40 % des voyages personnels dans la population des voyages étudiés. Donc, pour la majeure partie des gens qui voyagent la croissance du revenu avec l'âge est plus nette que dans le reste de la population ; ceci

---

(1) Gaston BANDERIER et Pierre GHIGLIAZZA : "Les revenus des ménages en 1970". Les collections de l'INSEE, série M, n° 40, décembre 1974, 148 pages.

indique que dans l'effet revenu mis en évidence une part non négligeable peut être imputable au vieillissement. Mais la relative faiblesse de la relation âge-revenu au niveau global et le pouvoir explicatif prépondérant du revenu sur le choix laissent penser que l'effet pouvoir d'achat prédomine sur l'effet de l'âge.

Si l'on compare les résultats du modèle 1 et du modèle 2, on constate une amélioration sensible. Dans l'analyse logit comme dans l'analyse probit, le pseudo-R^2 s'est amélioré de 50 % et atteint la valeur de 0,2479. L'examen des résultats de l'analyse discriminante montre que le carré de la distance séparant les deux populations s'est aussi amélioré de 50 %. Le choix du mode de transport est mieux expliqué par le logarithme du revenu, ce qui implique une diminution de l'effet-revenu précédemment mis en évidence quand le revenu s'élève.

Nous avons tenté de vérifier cette hypothèse en construisant un nouveau modèle, le modèle 5, dans lequel le revenu a été codé en employant les variables muettes 0, 1. Il y a donc autant de variables qu'il y a de tranches de revenu, c'est la cinquième tranche que nous avons codée 0, quel que soit le revenu de la personne interrogée. Ceci nous permet d'obtenir un classement des voyageurs en fonction de leur revenu et de la préférence pour l'un des deux modes. Ce nouveau modèle confirme le résultat précédent : on constate que les coefficients correspondant à chaque tranche de revenu croissent avec l'élévation du revenu à l'exception du dernier, mais celui-ci n'est guère significatif en raison du nombre peu élevé de personnes appartenant à cette classe de revenu.

Le modèle 3 a été construit en introduisant le revenu par unité de consommation et naturellement nous avons pris le logarithme comme le suggérait la conclusion précédente. La comparaison des résultats du modèle 2 et du modèle 3 fait apparaître une modification importante : le changement de signe du coefficient de la variable qui mesure la taille de la famille. Nous tenterons d'expliquer cette profonde modification lorsque nous analyserons l'influence de cette variable sur le choix du mode de transport. Qu'il s'agisse du revenu de la famille ou du revenu individuel, l'influence s'exerce dans le même sens. Les tests d'indépendance globale, le pseudo-R^2 et le D^2 sont légèrement plus élevés dans le modèle 3 ; il n'est pour autant pas permis de conclure que le revenu de la famille est moins explicatif dans la mesure où l'amélioration n'est pas imputable au revenu individuel. En effet, l'analyse discriminante montre bien que la contribution au carré de la distance du revenu de la famille est supérieure à celle du revenu par unité de consommation.

22 - Le parisien plus favorable à la voiture que le provincial

Quel que soit le modèle, quelle que soit l'analyse, le coefficient a_1 de la variable lieu de domicile (LDOM) est positif et toujours significatif. Cela signifie, toutes choses égales par ailleurs (revenu, taille de la famille, réduction), qu'un provincial a plus tendance à prendre le train qu'un parisien. Le parisien qui dispose d'une voiture peut envisager avec agrément d'effectuer un voyage par la route en province. D'abord, pour lui, c'est l'occasion d'utiliser la voiture car pour aller à son travail, il est plus ou moins contraint d'utiliser les transports en commun ; mais surtout, il va quitter les encombrements de

son univers habituel, pouvoir se détendre au volant de sa voiture. Au contraire, le provincial appréhende de circuler en voiture à Paris : non seulement la circulation y est très dense, mais se pose un problème de parking qui parfois ne se résoud que par l'acceptation du risque de contravention. De plus, le provincial sait qu'à Paris, il trouvera un réseau de transports urbains important qui lui permettra d'accéder plus facilement, à partir de la gare, à son point de destination s'il ne se trouve pas en banlieue. L'avantage de faire un voyage porte à porte avec la voiture se trouve réduit lorsqu'il s'agit d'un voyage à Paris. Au contraire, le parisien n'est pas sûr de trouver un moyen de transports collectifs adéquat, même dans une grande ville de province. A travers la variable "domicile" c'est en fait l'accessibilité des deux modes de transport que l'on compare ; la voiture est plus agréable et plus utile pour un parisien qui va en province que pour un provincial qui vient à Paris.

Ce premier résultat significatif nous a incité à chercher de nouvelles codifications de la variable "lieu de domicile". Comme elle permet indirectement d'analyser l'influence de l'accessibilité, c'est en fonction de celle-ci que l'on a orienté les recherches. Les nouvelles codifications qui cherchent à analyser des différences de comportement entre parisiens et banlieusards, ainsi qu'entre habitants d'une grande métropole et ceux des villes moyennes, n'ont pas permis de mettre en évidence des résultats significatifs.

23 - Un effet difficile à mettre en évidence : l'effet-taille de la famille

Il convient de remarquer, en premier lieu, les fluctuations des seuils de confiance que l'on accorde aux coefficients de cette variable dans le cadre des analyses probit et logit selon le modèle que l'on emploie. Le modèle 1 présente un coefficient a_3 non significatif ; il l'est avec un seuil de confiance très satisfaisant dans le modèle 2 où l'on a remplacé le revenu de la famille par son logarithme ; le seuil de confiance devient supérieur à celui des coefficients a_1 et a_4 lorsqu'on introduit la notion de revenu individuel. Ensuite on observe un changement remarquable : le signe de a_3 est négatif dans le modèle 2 quelle que soit l'analyse appliquée. A l'origine de cette modification, il y a le remplacement du revenu familial par le revenu individuel. Il est intéressant de souligner que dans le modèle 2, la probabilité de prendre le train diminue en même temps que la taille de la famille augmente, au contraire elle croît dans le modèle 3.

Ce résultat s'éclaire si l'on examine la liaison entre la taille de la famille et son revenu. Le modèle 2 indique une corrélation positive relativement élevée entre le nombre de personnes de la famille et le logarithme du revenu de la famille. Inversement, le modèle 3 fait apparaître une corrélation négative entre le nombre de personnes de la famille et le revenu individuel ; ceci traduit qu'au fur et à mesure que la famille s'aggrandit, le revenu individuel tend à baisser. Ces résultats ne sont pas contradictoires. En effet, le premier modèle indique que, pour un même revenu familial, la probabilité de choisir le train diminue avec l'accroissement de la taille de la famille, autrement dit, avec la diminution du revenu individuel, ce que confirme le modèle 3. Ce modèle, quant à lui, révèle que pour un revenu individuel donné la

probabilité de prendre le train augmente avec la taille de la famille, c'est-à-dire lorsque le revenu de la famille augmente, ce que confirme le modèle 2. La taille de la famille n'est donc pas une variable explicative indépendante : elle dépend de la notion de revenu intégrée dans le modèle. Cependant, quoiqu'il existe une corrélation entre le revenu de la famille et sa taille, elle est assez faible pour que l'on puisse intégrer les deux variables dans un même modèle (0, 255).

24 - L'élévation du taux de réduction passive favorable au choix du train

C'est une première approche de l'influence du coût de transport sur la discrimination entre le train et la voiture, étant donné que lorsque le niveau de réduction passive augmente, le prix relatif du voyage ferroviaire diminue. Il faut donc s'attendre à trouver que les bénéficiaires d'une réduction passive élevée aient un comportement favorable au train. Le signe toujours positif du coefficient a_4 confirme bien l'hypothèse précédente. Le test de STUDENT appliqué à ce coefficient dans chacune des trois analyses nous permet d'affirmer qu'il est significatif au seuil de 999°/₀₀. Le taux de réduction, dans ce modèle 2, est la variable qui, après le revenu, contribue le plus au carré de la distance entre les deux sous-populations déterminées par l'analyse discriminante. Mais l'effet de réduction n'est pas indépendant de celui de la taille de la famille puisqu'au-delà de cinq personnes, tous ses membres peuvent bénéficier d'une réduction sur le réseau SNCF. On relève d'ailleurs une corrélation positive entre le taux de réduction et le nombre de personnes de la famille mais, là encore, la corrélation est faible et il est permis d'introduire les deux variables sans risque de multicolinéarité. Ce résultat est logique dans la mesure où la taille de la famille n'est pas la seule cause du niveau de réduction passive (corrélation : 0,261).

25 - L'étude du comportement des catégories socio-professionnelles

La codification revient à comparer chaque CSP à celle que constituent les employés. Les CSP qui sont affectées d'un signe négatif sont plus favorables à la voiture que les employés et inversement si le signe est positif. Quant à la valeur absolue du coefficient, plus elle est élevée, plus elle confirme la préférence indiquée par le signe. On peut alors, à partir des résultats du modèle, classer les CSP dans l'ordre suivant, en fonction de la préférence pour la voiture :

1 - commerçants, artisans, industriels,
2 - agriculteurs,
3 - ouvriers,
4 - étudiants,
5 - cadres moyens,
6 - cadres supérieurs, professions libérales,
7 - autres actifs,
8 - employés,
9 - non actifs,
10 - militaires du contingent.

TABLEAU VI.6

MODELE 6 - $G(X) = a_0 + a_1 LDOM + a_2 REVENU + a_3 NPERSF + a_4 REDUC + a_{511} SAL$

	ANALYSE LOGIT		ANALYSE PROBIT		ANALYSE DISCRIMINANTE		
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student	Test de Student	Estimation du coefficient	Contribution au carré de la distance
a_0	- 14,759	- 27,791	- 8,6776	- 28,657		- 13,891	
a_1	0,743	11,540	0,4424	11,433	11,11	0,745	0,1172
a_2	1,289	25,502	0,7555	25,982	28,24	1,236	0,7053
a_3	- 0,069	- 3,225	- 0,4040	- 3,145	8,74	- 0,058	- 0,0234
a_4	1,396	11,109	0,8395	11,109	11,25	1,417	0,1189
a_{511}	0,376	4,349	0,2170	4,248	2,96	0,343	0,0110
	Test du ratio de vraisemblance 1 035,76		Test du ratio de vraisemblance 1 027,86		Carré de la distance		0,9290
	Nombre de degrés de liberté 5		Nombre de degrés de liberté 5		F (degrés de liberté)		225,40
	Seuil de signification 0,01		Seuil de signification 0,01		Seuil de signification		0,0001
	Pseudo R^2 0,252		Pseudo R^2 0,250				

On retrouve dans ce classement l'influence du revenu, mais celle-ci est tempérée par des situations propres à chaque CSP. Les deux CSP les plus favorables à la voiture sont celles où il y a peu de salariés. Ensuite, l'influence du revenu est assez nette jusqu'aux cadres supérieurs et professions libérales. Par contre, les CSP qui choisissent plus facilement le train ne sont pas des catégories à haut revenu, puisqu'on y trouve les employés, les non-actifs et les militaires. Ces derniers sont très favorables au train en raison de la forte réduction dont ils bénéficient sur le réseau SNCF, mais aussi parce que, même s'ils peuvent disposer d'une voiture, ils n'en ont guère souvent l'entière disposition et sont réduits à emprunter le train. Quant aux non-actifs, leur attitude s'explique en raison de leur âge qui rend la conduite automobile pénible sur de longs parcours.

Le classement que le modèle a permis d'établir a suggéré une distinction parmi les différentes CSP entre salariés et non-salariés. Cette distinction pose toutefois quelques problèmes pour certaines CSP. Ainsi, à l'intérieur de la CSP "professions libérales et cadres supérieurs", il n'est pas possible de distinguer les salariés des autres. Ce problème est assez grave car cette CSP est la plus importante, quel que soit le mode choisi : elle représente 28,6 % des voyageurs routiers et 49,2 % des voyageurs ferroviaires. La raison de cette insuffisance tient à l'enquête routière, étant donné qu'initialement, dans l'enquête ferroviaire, on avait demandé aux personnes interrogées si elles étaient salariées ou non. Ce même problème se pose, mais avec une moindre acuité, pour la CSP constituée des "autres actifs".

Cependant, l'étude d'André VILLENEUVE (1) sur la motorisation des ménages indique qu'il y a 110 000 ménages motorisés dont le chef exerce une profession libérale et 637 000 dont le chef est un cadre supérieur. Comme les cadres supérieurs sont environ six fois plus nombreux, nous avons considéré tous les membres de cette CSP comme des salariés. Nous avons agi de même avec les "autres actifs".

Finalement, notre codification revient à considérer d'une part ceux qui ont une forte probabilité d'être salariés, d'autre part ceux qui ont une faible probabilité de l'être. Le coefficient de cette nouvelle variable codée 0 lorsque la personne est supposée non salariée et 1 lorsqu'elle est supposée salariée, indique que les salariés ont plus tendance à prendre le train que les autres. Ce résultat confirme l'intuition qui se dégage du classement obtenu par le modèle. Toutefois, en raison de la marge d'incertitude sur la détermination de l'état de salarié, on doit être prudent quant à l'interprétation. Le fait que cette distinction offre un résultat satisfaisant si l'on considère l'ensemble des voyages, incite à analyser de façon plus approfondie cette variable, en particulier en tenant compte du motif.

---

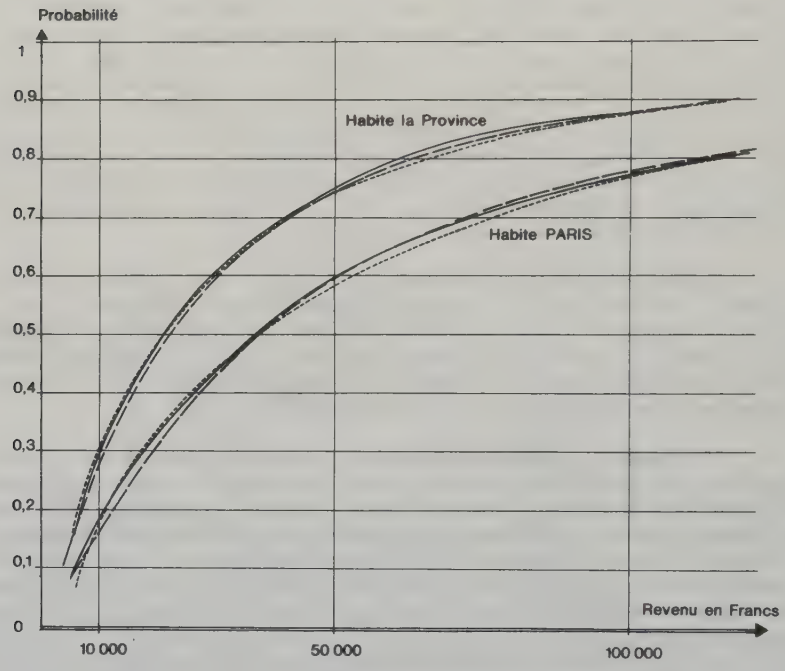
(1) André VILLENEUVE, op. cit.

GRAPHIQUE VI.1

PROBABILITÉ DU CHOIX DU TRAIN EN FONCTION DU REVENU DE LA FAMILLE pour une personne dont:

-le niveau de réduction passive est de 40%

-la famille est composée de 6 personnes



ANALYSE DISCRIMINANTE
ANALYSE PROBIT
ANALYSE LOGIT

II - L'INFLUENCE DES CARACTÉRISTIQUES DU VOYAGE SUR LE CHOIX DU MODE DE TRANSPORT

Les caractéristiques de l'individu ont permis de mesurer l'importance de la prédétermination de l'individu dans le choix entre le train et la voiture. Nous distinguons cette prédétermination de l'individu de la détermination relative à la spécificité du voyage.

1 - LES MODELES EXPLICATIFS UTILISES

11 - Les variables introduites pour caractériser le voyage

Aux variables destinées à caractériser l'individu sont jointes celles qui caractérisent le voyage : la durée du séjour (DUREE), la fréquence (FREQ), le nombre de personnes du voyage (NPERSV), le type de voyage (TYPVOY), la distance (DISTA) et le motif (MOTIF). La durée du séjour, la fréquence et la distance du voyage ont été introduites simplement en adoptant la codification de l'enquête. En ce qui concerne le nombre de personnes du voyage, nous avons adopté deux codifications : la première (NPERSV) consiste à prendre la valeur correspondant au nombre de personnes jusqu'à 9, au-delà le code est toujours égal à 9 ; la seconde (NPAC) consiste à distinguer les voyages solitaires des voyages accompagnés. La variable "nombre de personnes en voyage" prend la valeur 0 si la personne voyage seule et la valeur 1 si elle est accompagnée. Pour le type de voyage, nous distinguons le voyage aller et retour (TYPVOY = 1) du voyage circuit (TYPVOY = 0). Enfin, pour introduire le motif nous avons adopté la codification suivante : 0 pour les voyages à motif professionnel et 1 pour les voyages à motif personnel, ce qui a permis d'opérer la distinction classique des études de demande de transport.

Ces diverses codifications nous ont permis de construire deux modèles :

MODELE 7 (tableau VI.7)

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ LDOM} + a_2 \text{ Log REVET} + a_3 \text{ NPERSF} + a_4 \text{ REDUC} + a_6 \text{ DUREE} + a_7 \text{ FREQ} + a_8 \text{ NPERSV} + a_9 \text{ TYPVOY} + a_{10} \text{ DISTA} + a_{11} \text{ MOTIF}$$

MODELE 8 (tableau VI.8)

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ LDOM} + a_2 \text{ Log REVET} + a_3 \text{ NPERSF} + a_4 \text{ REDUC} + a_6 \text{ DUREE} + a_7 \text{ FREQ} + a_8 \text{ NPAC} + a_9 \text{ TYPVOY} + a_{10} \text{ DISTA} + a_{11} \text{ MOTIF}$$

12 - Les modèles utilisés pour l'analyse stratifiée en fonction du motif

Pour des raisons déjà invoquées mais aussi en raison de certaines corrélations de la variable motif nous avons opéré une stratification selon le motif qui a conduit à diviser notre échantillon initial en deux sous-échantillons. Le premier regroupe les 3 010 voyages professionnels, le second les 1 984 voyages personnels. Sur chacun de ces deux échantillons nous avons appliqué un modèle identique au modèle 5 ; la seule différence en est la suppression de la variable motif à partir de laquelle est opérée la stratification. Ensuite, nous avons remplacé le logarithme du revenu par unité de consommation par le logarithme du revenu de la famille. Enfin, nous avons appliqué deux modèles supplémentaires destinés à comparer le comportement des CSP selon le motif, ainsi que l'influence du statut de salarié.

MODELE 9 (tableau VI.9)

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ LDOM} + a_2 \text{ Log REVET} + a_3 \text{ NPERSF} + a_4 \text{ REDUC} + a_6 \text{ DUREE} + a_7 \text{ FREQ} + a_8 \text{ NPAC} + a_9 \text{ TYPVOY} + a_{10} \text{ DISTA}$$

MODELE 10 (tableau VI.10)

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ LDOM} + a_2 \text{ Log REVEF} + a_3 \text{ NPERSF} + a_4 \text{ REDUC} + a_6 \text{ DUREE} + a_7 \text{ FREQ} + a_8 \text{ NPAC} + a_9 \text{ TYPVOY} + a_{10} \text{ DISTA}$$

MODELE 11 (tableau VI.11)

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ LDOM} + a_2 \text{ Log REVET} + a_3 \text{ NPERSF} + a_4 \text{ REDUC} + a_{51} \text{ AGRI} + a_{52} \text{ ETUD} + a_{53} \text{ PATR} + a_{54} \text{ PROF} + a_{55} \text{ CADM} + a_{56} \text{ OUVR} + a_{57} \text{ MILI} + a_{58} \text{ A.ACT} + a_{59} \text{ N.ACT} + a_6 \text{ DUREE} + a_7 \text{ FREQ} + a_8 \text{ NPAC} + a_9 \text{ TYPVOY} + a_{10} \text{ DISTA}$$

MODELE 12 (tableau VI.12)

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ LDOM} + a_2 \text{ Log REVET} + a_3 \text{ NPERSF} + a_4 \text{ REDUC} + a_5 \text{ SALAR} + a_6 \text{ DUREE} + a_7 \text{ FREQ} + a_8 \text{ NPAC} + a_9 \text{ TYPVOY} + a_{10} \text{ DISTA}$$

13 - Les modèles utilisés pour l'analyse stratifiée en fonction de la distance et du motif

Les deux modèles ne sont pas identiques selon le motif ; en effet, on a regroupé toutes les CSP dont il est apparu évident qu'elles n'ont pas à effectuer, ou du moins très peu, de voyages professionnels. Celles-ci ont été codées de la même façon que les employés.

MODELE 13 - Motif professionnel (tableau VI.15)

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ LDOM} + a_2 \text{ Log REVEF} + a_3 \text{ NPERSF} + a_4 \text{ REDUC} + a_{53} \text{ PATR} + a_{54} \text{ PROF} + a_{55} \text{ CADM} + a_{56} \text{ OUVR} + a_{58} \text{ A.ACT} + a_6 \text{ DUREE} + a_7 \text{ FREQ} + a_8 \text{ NPAC} + a_9 \text{ TYPVOY}$$

MODELE 14 - Motif personnel (tableau VI.16)

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ LDOM} + a_2 \text{ Log REVEF} + a_3 \text{ NPERSF} + a_4 \text{ REDUC} + a_{51} \text{ AGRI} + a_{52} \text{ ETUD} + a_{53} \text{ PATR} + a_{54} \text{ PROF} + a_{55} \text{ CADM} + a_{56} \text{ OUVR} + a_{57} \text{ MILI} + a_{58} \text{ A.ACT} + a_{59} \text{ N.ACT} + a_6 \text{ DUREE} + a_7 \text{ FREQ} + a_8 \text{ NPAC} + a_9 \text{ TYPVOY} + a_{10} \text{ DISTA}$$

14 - La qualité de l'ajustement

La lecture des tableaux VI.7 et VI.8 montre que les résultats obtenus par les modèles 7 et 8 sont tout à fait satisfaisants et que l'on peut rejeter, avec un risque d'erreur inférieur à 1°/$_{oo}$, l'hypothèse où le choix du mode de transport serait indépendant des variables introduites. Mais il est plus intéressant de vérifier si l'adjonction des variables caractéristiques du voyage apporte un supplément d'explication significatif. Pour cela, on teste l'amélioration du rapport de vraisemblance à la suite de l'introduction des nouvelles variables. Les résultats groupés dans les tableaux VI.7 et VI.8 montrent que l'apport des caractéristiques du voyage est significatif et que l'on peut accepter l'hypothèse selon laquelle le choix du mode n'est pas indépendant des caractéristiques du voyage, ceci avec un risque d'erreur inférieur à 1°/$_{oo}$.

Nous avons regroupé dans les tableaux VI.10 à VI.12 les résultats des quatre modèles stratifiés selon le motif. La lecture de ces tableaux révèle, de nouveau, une qualité d'ajustement très satisfaisante. Quels que soient le modèle et l'analyse, il apparaît que l'hypothèse de l'indépendance du choix par rapport aux variables introduites peut être rejetée avec un risque d'erreur inférieur à 1°/$_{oo}$. Le pseudo-R^2, comme le D^2, est toujours plus élevé lorsque les modèles sont appliqués aux voyages personnels, ce qui laisse supposer que les caractéristiques de l'individu et du voyage expliquent plus le choix entre le train et la voiture pour les voyages personnels.

La double stratification selon le motif et la relation a conduit à diviser l'échantillon initial en 24 sous-échantillons. Bien que sur certaines relations le nombre de personnes interrogées ait été assez faible, nous avons obtenu sur 23 des 24 sous-échantillons des résultats très satisfaisants. Les trois analyses conduisent, en effet, à rejeter l'hypothèse d'indépendance du choix avec un risque d'erreur inférieur à 1°/$_{oo}$. Seule la liaison Paris-Arras, pour le motif professionnel, ne permet le rejet de cette hypothèse qu'au seuil de 5 %. Il est assez remarquable d'observer que, sur toutes les liaisons, le pseudo-R^2 est toujours supérieur pour les motifs personnels, ce qui semble confirmer que les caractéristiques de l'individu et du voyage expliquent mieux le choix des

TABLEAU VI.7

MODELE 7 - $G(X) = a_0 + a_1$ LDOM + a_2 Log REVET + a_3 NPERSF + a_4 REDUC + a_6 DUREE + a_7 FREQ + a_8 NPERSV + a_9 TYPVOY + a_{10} DISTA. + a_{11} MOTIF

	ANALYSE LOGIT		ANALYSE PROBIT		ANALYSE DISCRIMINANTE		
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student sur la comparaison des moyennes	Contribution au carré de la distance
a_0	- 14,871	- 25,611	- 8,823	- 26,228	- 14,240		
a_1	0,619	8,792	0,359	8,568	0,612	11,11	0,0963
a_2	1,192	22,806	0,697	22,732	1,130	24,35	0,5842
a_3	0,275	11,641	0,159	11,565	0,279	8,74	0,1128
a_4	1,445	10,514	0,863	10,601	1,435	11,25	0,1204
a_5	- 0,008	- 1,251	- 0,005	- 1,345	- 0,011	1,64	- 0,0030
a_7	0,002	1,116	0,001	1,366	0,002	2,73	0,0043
a_8	- 0,814	- 17,399	- 0,389	- 17,256	- 0,658	22,64	0,4163
a_9	0,694	4,482	0,395	4,311	0,685	3,96	0,0181
a_{10}	$0,62 \times 10^{-2}$	19,140	$0,36 \times 10^{-2}$	19,414	$0,64 \times 10^{-2}$	23,77	0,4994
a_{11}	- 0,142	- 1,828	- 0,117	- 2,570	- 0,165	13,28	0,0305
	Test du ratio de vraisemblance 1 921,42		Test du ratio de vraisemblance 1 887,60		Carré de la distance		1,8794
	Nombre de degrés de liberté 10		Nombre de degrés de liberté 10		F (degrés de liberté)		227,78
	Seuil de signification 0,01		Seuil de signification 0,01		Seuil de signification		0,001
	Pseudo R^2 0,429		Pseudo R^2 0,424				

MODELE 8 - $G(X) = a_0 + a_1$ LDOM + a_2 Log REVET + a_3 NPERSF + a_4 REDUC + a_6 DUREE + a_7 FREQ + a_8 NPAC + a_9 TYPVOY + a_{10} DISTA + a_{11} MOTIF

	ANALYSE LOGIT		ANALYSE PROBIT		ANALYSE DISCRIMINANTE		
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student sur la comparaison des moyennes	Contribution au carré de la distance
a_0	- 15,914	- 26,888	- 9,281	- 26,931	- 14,907		
a_1	0,656	9,098	0,383	8,945	0,649	11,11	0,1021
a_2	1,223	22,909	0,712	22,626	1,150	24,35	0,5947
a_3	0,263	10,960	0,152	10,904	0,265	8,74	0,1073
a_4	1,474	10,454	0,851	10,296	1,429	11,25	0,1199
a_6	- 0,009	- 1,287	- 0,005	- 1,379	- 0,011	1,64	- 0,0029
a_7	0,0002	0,098	0,000	0,221	0,0004	2,73	0,0007
a_8	- 1,777	- 22,612	- 1,046	- 22,907	- 1,911	29,37	0,7385
a_9	0,798	5,075	0,465	4,989	0,826	3,96	0,0219
a_{10}	$0,62 \times 10^{-2}$	19,141	$0,36 \times 10^{-2}$	19,261	$0,64 \times 10^{-2}$	23,77	0,5056
a_{11}	- 0,083	- 1,049	- 0,051	- 1,103	- 0,049	13,28	0,0091
	Test du ratio de vraisemblance 2 109,82		Test du ratio de vraisemblance 2 118,89		Carré de la distance		2,1969
	Nombre de degrés de liberté 10		Nombre de degrés de liberté 10		F (degrés de liberté)		266,26
	Seuil de signification 0,01		Seuil de signification 0,01		Seuil de signification		0,0001
	Pseudo R^2 0,464		Pseudo R^2 0,465				

TABLEAU VI.8

voyages personnels que le choix des voyages professionnels. Seuls sont présentés ici les résultats obtenus avec l'analyse logit (tableaux VI.15 et VI.16).

2 - L'INTERPRETATION DES RESULTATS DES MODELES GLOBAUX

21 - Deux caractéristiques du voyage particulièrement explicatives du choix du mode de transport : la taille du groupe en voyage et la distance

211 - L'accroissement de la taille du groupe favorable au choix de la voiture

Le modèle 7 offre, dans les trois analyses, un coefficient significatif. Le signe négatif dont il est affecté révèle que lorsque la taille du groupe s'accroît la probabilité de choisir la voiture augmente. Ce résultat est la conséquence logique de l'évolution comparée des coûts de voyage en voiture et en train, en fonction de la taille du groupe. Il apparaît en effet que le coût du voyage en voiture, pour un même accroissement de la taille du groupe, s'élève beaucoup moins rapidement que le coût du voyage ferroviaire. Même lorsqu'une famille utilise le billet de famille, le coût marginal du voyageur supplémentaire n'est jamais nul, alors que pour la voiture il l'est dans la plupart des cas ; l'accompagnement ne modifie pas le coût du voyage automobile tant qu'il n'est pas nécessaire de modifier le nombre de voitures ; cela ne se produit jamais dans le cas du voyage ferroviaire. En outre, pour obtenir le billet de famille, il est nécessaire que la décision de voyager et que le nombre de personnes faisant partie du voyage, soient déclarés 48 heures avant le départ. Ni ce délai, ni cette précision ne sont nécessaires pour prendre la décision d'un voyage en voiture (1). Ces deux observations expliquent pourquoi, lorsque la taille du groupe augmente, le choix des voyageurs se porte plus volontiers sur la voiture que sur le train.

Le modèle 8 se distingue du modèle 7 par le fait que la taille du groupe en voyage est codée de façon à différencier le voyage solitaire du voyage accompagné. Le résultat obtenu confirme naturellement le précédent en ce sens que lorsqu'ils voyagent seuls, les voyageurs choisissent plus facilement le train. La forte valeur du coefficient de cette variable indique qu'elle joue un rôle particulièrement important dans le choix du mode de transport. Le pseudo-R^2 s'est amélioré de façon sensible dans l'analyse logit, comme dans l'analyse probit, puisqu'il passe de 0,42 à 0,46. Dans l'analyse discriminante, le carré de la distance s'est amélioré de 20 %, cette amélioration est imputable à la contribution accrue de la variable "taille du groupe en voyage", qui passe de 0,4163 à 0,7385. Dans le modèle 8, c'est la variable la plus discriminante : elle apporte la plus forte contribution au carré de la distance.

---

(1) Cf. R. LANG, thèse, op.cit., annexe V B.

Si l'accroissement de la taille du groupe est favorable au choix de la voiture, on peut affirmer que cette influence n'est pas régulière : elle est particulièrement accentuée lorsqu'on passe d'un voyage solitaire à un voyage accompagné. Outre l'influence évidente et essentielle du coût du voyage, nous pouvons déceler à travers ce résultat l'avantage que présente la voiture sur le train de mieux préserver l'intégrité du groupe du moins tant qu'une seule voiture est nécessaire.

212 - La distance, mesure de l'importance du déplacement

Nous avons considéré que la distance routière était un meilleur indicateur que la distance ferroviaire, puisqu'elle peut être calculée de porte à porte. Cependant, la distance ferroviaire présente elle aussi un intérêt : comparée à la distance routière, elle permet de mesurer l'accessibilité du train par rapport à la voiture. Nous avons donc élaboré une nouvelle variable, ce qui nous a conduit à bâtir un nouveau modèle. La variable "distance" est toujours affectée dans les deux modèles 7 et 8, et quelle que soit l'analyse, d'un coefficient significatif. Dans le modèle 7, seul le revenu contribue de façon plus importante à la distance des sous-populations de l'analyse discriminante. Le signe positif du coefficient révèle qu'avec l'accroissement de la distance, le choix se porte plus facilement sur le train. Trois effets vont jouer simultanément dans le même sens : la distance modifie l'accessibilité relative du train par rapport à la voiture, elle agit de façon différente selon le mode sur les conséquences de la fatigue du voyage et enfin le gain de temps s'accroît avec la distance. Le pouvoir attractif de l'accessibilité parfaite de la voiture varie suivant la distance : un trajet de vingt minutes pour aller à la gare n'exercera pas le même pouvoir de rejet du train si la distance à parcourir est de 200 kilomètres au lieu de 500. L'accessibilité parfaite de la voiture perd son attrait lorsque la distance à parcourir s'accroît. Quel que soit le mode de transport, la fatigue du voyageur s'accroît au fur et à mesure que le voyage se poursuit, mais les conséquences ne seront pas identiques selon le mode emprunté. Au cours d'un voyage ferroviaire, lorsque la fatigue apparaît, elle n'a aucune influence sur le déroulement du voyage. Par contre, au cours d'un voyage en automobile, la fatigue peut inciter le conducteur à ralentir, ou même s'arrêter. Quelle que soit la décision, l'automobiliste a généralement conscience que le risque d'accident augmente. Dans ces conditions, il est normal que le choix du voyageur se porte plus facilement sur le train lorsqu'il s'agit d'effectuer de longs parcours. Enfin, il existe indubitablement une très forte liaison entre le temps de transport et la distance (1). Comme le train s'avère intrinsèquement plus rapide que la voiture, le gain de temps absolu s'accroît en fonction de la distance. Peut-être est-ce la raison essentielle de la préférence pour le train lorsque le voyage s'allonge.

(1) Cf. Chapitre VII, Section II.

TABLEAU VI.9

MOTIF PROFESSIONNEL

MODELE 9 - $G(X) = a_0 + a_1$ LDOM $+ a_2$ Log REVET $+ a_3$ NPERSF $+ a_4$ REDUC $+ a_6$ DUREE $+ a_7$ FREQ $+ a_8$ NPAC $+ a_9$ TYPVOY $+ a_{10}$ DISTA

	ANALYSE LOGIT		ANALYSE PROBIT		ANALYSE DISCRIMINANTE		
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student sur la comparaison des moyennes	Contribution au carré de la distance
a_0	- 16,942	- 21,207	- 9,888	- 22,159	- 16,209		
a_1	0,662	7,299	0,386	7,184	0,659	6,78	0,0808
a_2	1,322	18,209	0,768	18,790	1,253	18,82	0,6072
a_3	0,265	8,545	0,155	8,518	0,255	5,63	0,0838
a_4	0,787	4,186	0,459	4,414	0,732	5,03	0,0336
a_6	- 0,029	- 3,515	- 0,016	- 3,517	- 0,027	2,28	0,0135
a_7	$- 0,43 \times 10^{-3}$	- 0,219	$- 0,73 \times 10^{-4}$	- 0,062	$- 0,39 \times 10^{-3}$	2,38	0,0008
a_8	- 1,625	- 15,971	- 0,953	- 16,097	- 1,657	17,05	0,4536
a_9	0,898	5,047	0,523	4,940	0,895	5,09	0,0430
a_{10}	$0,64 \times 10^{-2}$	16,014	$0,38 \times 10^{-2}$	16,268	$0,64 \times 10^{-2}$	19,22	0,5452
	Test du ratio de vraisemblance 1 149,93		Test du ratio de vraisemblance 1 149,59		Carré de la distance 1,8615		
	Nombre de degrés de liberté 9		Nombre de degrés de liberté 9		F (degrés de liberté) (9 - 3000) 155,18		
	Seuil de signification 0,001		Seuil de signification 0,001		Seuil de signification 0,0001		
	Pseudo R^2 0,423		Pseudo R^2 0,423				

TABLEAU VI.9

MOTIF PERSONNEL

MODELE 9 - $G(X) = a_0 + a_1$ LDOM + a_2 Log REVET + a_3 NPERSF + a_4 REDUC + a_6 DUREE + a_7 FREQ + a_8 NPAC + a_9 TYPVOY + a_{10} DISTA

	ANALYSE LOGIT		ANALYSE PROBIT		ANALYSE DISCRIMINANTE		
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student sur la comparaison des moyennes	Contribution au carré de la distance
a_0	- 14,334	- 14,673	- 8,176	- 14,785	- 13,054		
a_1	0,620	5,023	0,355	4,923	0,638	7,30	0,1104
a_2	1,108	12,629	0,628	12,656	1,056	13,01	0,5243
a_3	0,301	7,668	0,172	7,498	0,326	4,98	0,1277
a_4	2,381	11,077	1,357	10,810	2,665	12,63	0,4441
a_6	0,045	3,439	0,025	3,403	0,048	6,46	0,0685
a_7	- 0,012	- 2,565	- 0,006	- 2,425	- 0,008	1,36	0,0101
a_8	- 2,169	- 16,706	- 1,263	- 16,864	- 2,618	21,20	1,1716
a_9	0,477	1,372	0,293	1,457	0,505	1,15	0,0052
a_{10}	$0,52 \times 10^{-2}$	9,284	$0,30 \times 10^{-2}$	9,225	$0,54 \times 10^{-2}$	13,60	0,4031
	Test du ratio de vraisemblance 873,92		Test du ratio de vraisemblance 880,26		Carré de la distance 2,8651		
	Nombre de degrés de libert 9		Nombre de degrés de liberté 9		F (degrés de liberté) (9 - 1973) 133,32		
	Seuil de signification 0,001		Seuil de signification 0,001		Seuil de signification 0,0001		
	Pseudo R^2 0,503		Pseudo R^2 0,506				

MOTIF PROFESSIONNEL

MODELE 10- $G(X) = a_0 + a_1$ LDOM $+ a_2$ Log REVEF $+ a_3$ NPERSF $+ a_4$ REDUC $+ a_6$ DUREE $+ a_7$ FREQ $+ a_8$ NPAC $+ a_9$ TYPVOY $+ a_{10}$ DISTA

	ANALYSE LOGIT		ANALYSE PROBIT		ANALYSE DISCRIMINANTE		
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student sur la comparaison des moyennes	Contribution au carré de la distance
a_0	- 16,334	- 20,981	- 9,546	- 21,324	- 15,901		
a_1	0,653	7,236	0,380	7,106	0,648	6,78	0,0795
a_2	1,271	17,845	0,740	17,862	1,231	21,34	0,6397
a_3	- 0,061	- 2,026	- 0,034	- 1,908	- 0,056	5,63	- 0,0182
a_4	0,864	4,605	- 0,502	4,539	0,816	5,03	0,0374
a_6	- 0,028	- 3,472	- 0,016	- 3,443	- 0,026	2,28	0,0130
a_7	$- 0,41 \times 10^{-3}$	- 0,208	$0,5 \times 10^{-4}$	0,041	$- 0,47 \times 10^{-3}$	2,38	0,0010
a_8	- 1,644	- 16,219	- 0,965	- 16,374	- 1,678	17,05	0,4589
a_9	0,887	4,992	0,516	4,879	0,879	5,09	0,0422
a_{10}	$0,64 \times 10^{-2}$	15,963	$0,38 \times 10^{-2}$	16,222	$0,66 \times 10^{-2}$	19,22	0,5394
	Test du ratio de vraisemblance 1 110,62		Test du ratio de vraisemblance 1 108,98		Carré de la distance		1,7929
	Nombre de degrés de liberté 9		Nombre de degrés de liberté 9		F (degrés de liberté) (9 - 3000)		149,46
	Seuil de signification 0,001		Seuil de signification 0,001		Seuil de signification		0,0001
	Pseudo R^2 0,411		Pseudo R^2 0,411				

TABLEAU VI.10

MOTIF PERSONNEL

MODELE 10- $G(X) = a_0 + a_1$ LDOM $+ a_2$ Log REVEF $+ a_3$ NPERSF $+ a_4$ REDUC $+ a_6$ DUREE $+ a_7$ FREQ $+ a_8$ NPAC $+ a_9$ TYPVOY $+ a_{10}$ DISTA

	ANALYSE LOGIT		ANALYSE PROBIT		ANALYSE DISCRIMINANTE		
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student sur la comparaison des moyennes	Contribution au carré de la distance
a_0	- 14,322	- 14,493	- 8,172	- 14,675	- 13,323		
a_1	0,622	5,041	0,357	4,963	0,641	7,30	0,1108
a_2	1,119	12,420	0,636	12,500	1,095	15,02	0,5912
a_3	0,021	0,534	0,011	0,498	0,058	4,98	0,0199
a_4	2,401	11,138	1,372	10,906	2,702	12,63	0,4501
a_6	0,044	3,363	0,024	3,317	0,044	6,46	0,0668
a_7	- 0,011	- 2,403	- 0,006	- 2,269	- 0,012	1,36	0,0096
a_8	- 2,223	- 17,061	- 1,292	- 17,248	- 2,663	21,20	1,1932
a_9	0,459	1,329	0,279	1,403	0,507	1,15	0,0053
a_{10}	$0,52 \times 10^{-2}$	9,312	$0,29 \times 10^{-2}$	9,251	$0,54 \times 10^{-2}$	13,60	0,4041
	Test du ratio de vraisemblance 867,37		Test du ratio de vraisemblance 873,37		Carré de la distance		2,8511
	Nombre de degrés de liberté 9		Nombre de degrés de liberté 9		F (degrés de liberté) (9 - 1974)		132,67
	Seuil de signification 0,001		Seuil de signification 0,001		Seuil de signification		0,0001
	Pseudo R^2 0,500		Pseudo R^2 0,503				

TABLEAU VI.10

TABLEAU VI.11

MOTIF PROFESSIONNEL

MODELE 11 - $G(X) = a_0 + a_1$ LDOM + a_2 Log REVET + a_3 NPERSF + a_4 REDUC + a_{51} AGRI + a_{52} ETUD + a_{53} PATR + a_{54} PROF + a_{55} CADM + a_{56} OUVR + a_{57} MILI + a_{58} A.ACT + a_{59} A.ACT + a_6 DUREE + a_7 FREQ + a_8 NPAC + a_9 TYPVOY + a_{10} DISTA

	ANALYSE LOGIT		ANALYSE PROBIT		ANALYSE DISCRIMINANTE		
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student sur la comparaison des moyennes	Contribution au carré de la distance
a_0	- 16,709	- 18,638	- 9,678	- 19,372	- 15,510		
a_1	0,693	7,507	0,401	7,335	0,677	6,78	0,0830
a_2	1,339	16,063	0,775	16,494	1,221	18,82	0,5912
a_3	0,277	8,388	0,160	8,258	0,255	5,63	0,0836
a_4	0,613	3,204	0,361	3,186	0,580	5,03	0,0265
a_{51}	- 0,648	- 0,941	- 0,357	- 0,928	- 0,444	1,43	0,0017
a_{52}	- 1,573	- 3,599	- 0,929	- 3,686	- 1,394	4,37	0,0296
a_{53}	- 1,326	- 5,024	- 0,773	- 4,984	- 1,188	7,05	0,0847
a_{54}	- 0,279	- 1,273	- 0,169	- 1,300	- 0,175	15,06	- 0,0461
a_{55}	- 0,477	- 2,194	- 0,299	- 2,325	- 0,529	5,79	0,0496
a_{56}	- 0,501	- 1,845	- 0,331	- 2,064	- 0,545	7,31	0,0370
a_{57}	- 1,079	- 0,662	- 0,633	- 0,611	- 0,979	0,03	- 0,0000
a_{58}	0,031	0,109	0,003	0,017	- 0,004	1,02	0,0000
a_{59}	0,609	0,934	0,379	0,964	0,603	1,69	0,0029
a_6	- 0,026	- 3,178	- 0,014	- 3,051	- 0,024	2,28	0,0121
a_7	$- 0,31 \times 10^{-4}$	- 0,015	$0,15 \times 10^{-3}$	0,130	$- 0,12 \times 10^{-4}$	2,38	0,0003
a_8	- 1,585	- 15,380	- 0,933	- 15,516	- 1,635	17,05	0,4459
a_9	0,893	4,938	0,514	4,789	0,882	5,09	0,0422
a_{10}	$0,63 \times 10^{-2}$	15,422	$0,37 \times 10^{-2}$	15,564	$0,65 \times 10^{-2}$	19,22	0,5286
	Test du ratio de vraisemblance 1 206,19		Test du ratio de vraisemblance 1 207,47		Carré		1,9729
	Degré de liberté 18		Degré de liberté 18		F (degré de liberté) (18 - 2991)		81,98
	Seuil de signification 0,001		Seuil de signification 0,001		Seuil de signification		0,0001
	Pseudo R^2 0,440		Pseudo R^2 0,441				

MOTIF PERSONNEL

MODELE 11 - $G(X) = a_0 + a_1$ LDOM $+ a_2$ Log REVET $+ a_3$ NPERSF $+ a_4$ REDUC $+ a_{51}$ AGRI $+ a_{52}$ ETUD $+ a_{53}$ PATR $+ a_{54}$ PROF
$+ a_{55}$ CADM $+ a_{56}$ OUVR $+ a_{57}$ MILI $+ a_{58}$ A.ACT $+ a_{59}$ A.ACT $+ a_6$ DUREE $+ a_7$ FREQ $+ a_8$ NPAC $+ a_9$ TYPVOY $+ a_{10}$ DISTA

	ANALYSE LOGIT		ANALYSE PROBIT		ANALYSE DISCRIMINANTE		
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student sur la comparaison des moyennes	Contribution au carré de la distance
a_0	- 14,478	- 13,678	- 8,273	- 13,695			
a_1	0,610	4,785	0,354	4,724	0,622	7,30	0,1076
a_2	1,207	12,224	0,689	12,313	1,194	13,01	0,5926
a_3	0,331	7,857	0,187	7,645	0,354	4,98	0,1388
a_4	2,131	9,426	1,221	9,192	2,457	12,63	0,4094
a_{51}	- 1,761	- 2,708	- 0,968	- 2,701	- 1,948	1,58	0,0168
a_{52}	- 0,917	- 3,034	- 0,556	- 3,131	- 0,878	3,14	- 0,0323
a_{53}	- 1,495	- 4,793	- 0,866	- 4,759	- 1,397	3,47	0,0622
a_{54}	- 1,299	- 5,653	- 0,753	- 5,581	- 1,348	1,10	- 0,0316
a_{55}	- 1,074	- 4,598	- 0,620	- 4,523	- 1,156	3,91	0,0868
a_{56}	- 1,387	- 4,811	- 0,803	- 4,734	- 1,193	7,26	0,1382
a_{57}	0,044	0,066	0,074	0,183	0,278	4,12	0,0055
a_{58}	- 1,134	- 3,492	- 0,645	- 3,393	- 1,183	0,57	0,0079
a_{59}	0,361	1,359	0,207	2,239	0,706	10,13	0,1007
a_6	0,029	2,232	0,017	1,315	0,032	6,46	0,0481
a_7	- 0,013	- 2,657	- 0,007	2,239	- 0,010	1,36	0,0107
a_8	- 2,222	- 16,627	- 1,292	- 16,702	- 2,693	21,20	1,2038
a_9	0,605	1,677	0,350	1,664	0,588	1,15	0,0061
a_{10}	$0,53 \times 10^{-2}$	9,270	$0,30 \times 10^{-2}$	9,064	$0,57 \times 10^{-2}$	13,60	0,4135
	Test du ratio de vraisemblance 960,717		Test du ratio de vraisemblance 970,293		Carré		3,2827
	Degré de liberté 18		Degré de liberté 18		F (degré de liberté) (18 - 1965)		76,03
	Seuil de signification 0,001		Seuil de signification 0,001		Seuil de signification		0,0001
	Pseudo R^2 0,542		Pseudo R^2 0,546				

TABLEAU VI.11

TABLEAU VI.12

MOTIF PROFESSIONNEL

MODELE 12 - $G(X) = a_0 + a_1$ LDOM + a_2 Log REVET + a_3 NPERSF + a_4 REDUC + a_6 DUREE + a_7 FREQ + a_8 NPAC + a_9 TYPVOY + a_{10} DISTA + a_5 SAL

	ANALYSE LOGIT		ANALYSE PROBIT		ANALYSE DISCRIMINANTE		
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student sur la comparaison des moyennes	Contribution au carré de la distance
a_0	- 18,189	- 21,721	- 10,577	- 22,681	- 17,164		
a_1	0,703	7,682	0,407	7,519	0,688	6,78	0,0843
a_2	1,360	18,464	0,789	19,077	1,273	18,82	0,6164
a_3	0,274	8,759	0,159	8,703	0,260	5,63	0,0854
a_4	0,732	3,884	0,430	3,862	0,688	5,03	0,0312
a_5	0,896	6,049	0,511	5,904	0,771	7,91	0,0706
a_6	- 0,027	- 3,315	- 0,015	- 3,246	- 0,025	2,28	0,0128
a_7	$- 0,29 \times 10^{-3}$	- 0,147	$0,16 \times 10^{-4}$	0,013	$- 0,19 \times 10^{-3}$	2,38	0,0004
a_8	- 1,564	- 15,295	- 0,919	- 15,392	- 1,609	17,05	0,4391
a_9	0,915	5,103	0,525	4,946	0,914	5,09	0,0438
a_{10}	$0,64 \times 10^{-2}$	15,689	$0,37 \times 10^{-2}$	15,853	$0,65 \times 10^{-2}$	19,22	0,5360
	Test du ratio de vraisemblance 1 185,83		Test du ratio de vraisemblance 1 185,08		Carré de la distance		1,9201
	Nombre de degrés de liberté 10		Nombre de degrés de liberté 10		F (degrés de liberté) (10 - 2999)		144,01
	Seuil de signification 0,001		Seuil de signification 0,001		Seuil de signification		0,0001
	Pseudo R^2 0,434		Pseudo R^2 0,434				

MOTIF PERSONNEL

MODELE 12 - G (X) = a_0 + a_1 LDOM + a_2 Log REVET + a_3 NPERSF + a_4 REDUC + a_6 DUREE + a_7 FREQ + a_8 NPAC + a_9 TYPVOY + a_{10} DISTA + a_5 SAL

	ANALYSE LOGIT		ANALYSE PROBIT		ANALYSE DISCRIMINANTE		
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student sur la comparaison des moyennes	Contribution au carré de la distance
a_0	- 13,602	- 13,700	- 7,765	- 13,758	- 12,325		
a_1	0,580	4,661	0,330	4,538	0,584	7,30	0,1010
a_2	1,078	12,258	0,612	12,307	1,035	13,01	0,5141
a_3	0,286	7,242	0,163	7,070	0,311	4,98	0,1216
a_4	2,374	11,019	1,354	10,769	2,679	12,63	0,4464
a_5	- 0,492	- 3,576	- 0,268	- 3,322	- 0,592	6,90	0,0861
a_6	0,039	3,007	0,022	3,005	0,040	6,46	0,0611
a_7	- 0,012	- 2,528	- 0,006	- 2,411	- 0,012	1,36	0,0100
a_8	- 2,172	- 16,667	- 1,262	- 16,801	- 2,628	21,20	1,1750
a_9	0,470	1,352	0,290	1,438	0,507	1,15	0,0052
a_{10}	$0,51 \times 10^{-2}$	9,386	$0,30 \times 10^{-2}$	9,245	$0,54 \times 10^{-2}$	13,60	0,4082
	Test du ratio de vraisemblance 885,72		Test du ratio de vraisemblance 891,02		Carré de la distance		2,9285
	Nombre de degrés de liberté 10		Nombre de degrés de liberté 10		F (degrés de liberté) (10 - 1973)		122,58
	Seuil de signification 0,001		Seuil de signification 0,001		Seuil de signification		0,0001
	[illegible] 0,509		[illegible] 0,511				

TABLEAU VI.12

22 - Trois variables sans grande influence sur le choix du mode de transport : la durée du séjour, la fréquence et le type de voyage

Quelle que soit l'analyse, la durée du séjour n'est jamais affectée d'un coefficient très significatif. Dans l'analyse discriminante, sa contribution au carré de la distance est même légèrement négative. La durée du séjour n'aurait-elle aucune influence sur le choix du mode de transport ? Avant de conclure, il est nécessaire de s'assurer que la durée n'est pas corrélée avec d'autres variables. L'observation de la matrice des corrélations fait apparaître une liaison positive légère avec la distance qui indique que, plus une personne voyage loin, plus elle a tendance à prolonger son séjour. Effectuée afin d'éliminer l'influence de la distance une analyse de la durée sur chacune des liaisons de l'échantillon ne fait ressortir aucun caractère explicatif stable, résultat peu surprenant en raison d'un effectif trop faible sur de nombreuses liaisons (cf. tableaux VI.15 et VI.16).

Comme pour la durée du voyage, les analyses probit et logit indiquent que le coefficient de la fréquence n'est pas significativement différent de zéro. Cependant, selon l'analyse discriminante, la moyenne de la fréquence par la route serait significativement différente de la moyenne des voyages par le fer. La matrice des corrélations indique qu'il existe une liaison ténue entre la fréquence et le motif du voyage et une autre, un peu plus prononcée, avec la distance. La première révèle que la fréquence est plus élevée pour les voyages professionnels qu'elle ne l'est pour les voyages personnels. La seconde montre que la fréquence diminue avec la distance, c'est en quelque sorte un résultat corollaire de celui qui lie la distance et la durée du séjour. Une fois encore l'intérêt d'une analyse séparée sur chaque liaison apparaît si l'on veut étudier le rôle de la fréquence, indépendamment de la distance mais il aurait fallu pour cela disposer pour chaque relation d'un échantillon de plus grande taille car comme pour la durée aucun caractère explicatif stable n'apparaît (cf. tableaux VI.15 et VI.16).

Le résultat obtenu concernant le type de voyage est conforme à celui auquel on pouvait s'attendre puisque le signe positif du coefficient, significatif quelle que soit l'analyse, indique que la forme aller-retour favorise le choix du train, tandis que la souplesse d'utilisation de la voiture emporte la décision dans le cas des voyages circulaires. Compte tenu de la perte d'information due à notre définition du trafic, il est vraisemblable que l'importance de ce phénomène a été sous-estimée. Pour mieux le prendre en compte il aurait été préférable de faire l'analyse à partir d'untrafic simplement défini "lieu de domicile - destination finale".

23 - Le rôle ambigu du motif

Dans les trois analyses, nous obtenons un coefficient a_{11} toujours de signe négatif, ce qui indique que le choix se porte plutôt sur la voiture si le voyage est effectué à des fins personnelles et en faveur du train si le but du voyage est professionnel. Mais, pour la première fois depuis l'application des trois analyses, de profondes divergences apparaissent entre elles en ce qui concerne le seuil de

confiance du coefficient. On ne peut rejeter l'hypothèse d'un coefficient nul qu'avec un risque d'erreur de 7 % dans l'analyse logit ; le risque d'erreur tombe à 11°/oo dans l'analyse probit. Enfin, l'analyse discriminante offre une différence de moyennes significativement différente dans les deux sous-populations, puisque le risque d'erreur est inférieur à 1°/oo. De telles divergences dans les résultats sont apparemment inexplicables.

L'observation de la matrice des corrélations indique que le motif est notablement corrélé avec le revenu de la famille (- 0,163), la fréquence (- 0,217) et le nombre de personnes du voyage (0,292). Cette variable est assez corrélée avec l'ensemble des autres variables explicatives (0,408). Le motif n'est pas une variable explicative indépendante. Une stratification en fonction du motif s'impose donc afin de préciser le pouvoir explicatif de ces variables.

3 - DIVERGENCES OBSERVEES EN FONCTION DU MOTIF DU VOYAGE

La comparaison des résultats des modèles 9, 10, 11 et 12 appliqués, d'une part aux voyages personnels, d'autre part aux voyages professionnels, fait apparaître des divergences sur le caractère explicatif de certaines variables ; on distingue celles qui ne modifient pas la sensibilité du choix en fonction du motif, celles qui accroissent la sensibilité du choix pour les voyages personnels et celles qui accroissent la sensibilité du choix pour les voyages professionnels. Enfin, une analyse distincte, menée à partir des modèles 11 et 12, aboutit à deux classements différents des CSP en fonction du motif.

31 - Les variables dont le pouvoir explicatif demeure stable

Les trois analyses confèrent au lieu de domicile un coefficient positif dans le modèle 9 pour les deux motifs. On observe que ce coefficient est toujours supérieur lorsque le modèle est appliqué aux voyages professionnels ; cependant, le test de comparaison (tableau VI.12) sur les coefficients obtenus par l'analyse logit ne permet pas de rejeter l'hypothèse d'égalité avec un seuil de confiance suffisant. La localisation joue donc dans le même sens, quel que soit le motif, et ne semble pas avoir plus d'influence sur les voyages professionnels que sur les voyages personnels.

Dans le modèle 9, la taille de la famille est toujours affectée d'un coefficient positif d'une valeur plus élevée pour les voyages personnels. Toutefois, cette différence n'est pas significative, puisqu'il s'avère que les deux coefficients, dans l'analyse logit, ne sont pas significativement différents. On ne peut donc tirer de conclusion péremptoire, dans la mesure où l'effet de cette variable dépend de la notion de revenu introduite dans le modèle.

Alors que les trois analyses donnent au type de voyage un coefficient significatif lorsque le modèle 9 est appliqué aux voyages professionnels, lorsque ce même modèle est appliqué aux voyages personnels le

coefficient cesse d'être significatif. On serait tenté de conclure que la forme du voyage, circuit ou aller et retour, exerce une action différenciée par la nature du motif. Or l'application du test de comparaison (tableau VI.13) fait apparaître une différence non significative. Ce résultat ambigu reflète la difficulté de prendre en compte cette variable à partir de la notion de trafic retenue.

32 - Les variables qui accroissent la sensibilité du choix pour les voyages professionnels

Quel que soit le motif, le revenu apparaît comme une variable très explicative. Sa contribution au carré de la distance des deux sous-populations est importante : cependant, alors qu'elle y entre pour plus d'un tiers en cas de voyage professionnel, elle n'atteint pas 20 % dans l'autre cas. Cette divergence se traduit au niveau des coefficients, puisque leur différence est significative au seuil de 94 %. Le choix du mode de transport est plus sensible aux variations du revenu lorsque le voyage est effectué dans le cadre de la profession ; le motif professionnel accroît l'attrait du train pour les titulaires de revenus élevés, le motif personnel au contraire l'atténue. Le modèle 9, qui intègre le revenu de la famille, offre dans le cadre de l'analyse logit deux valeurs distinctes du coefficient dont la différence n'apparaît pas significative. Le revenu de la famille semble avoir un caractère explicatif plus stable que le revenu individuel. Au regard de ces résultats, il n'apparaît pas possible de trancher entre le pouvoir d'achat individuel et le pouvoir d'achat familial. L'introduction du revenu de la famille n'améliore ni le pseudo-R^2 dans les analyses probit et logit ni le carré de la distance de l'analyse discriminante, les valeurs étant toutefois très voisines, quel que soit le motif.

Le coefficient a_6, non significatif dans les modèles globaux, le devient dans les modèles appliqués séparément aux voyages professionnels et personnels. La stratification selon le motif s'avère donc particulièrement utile pour préciser l'influence de la durée. Dans les modèles 9 et 10 appliqués aux voyages professionnels, le coefficient a_6 est négatif : il indique que lorsque la durée du voyage augmente, le choix se porte plutôt sur la voiture. Ce résultat correspond à une attitude cohérente car, plus longtemps on demeure à destination, plus utile peut s'avérer la voiture. On pourrait croire que cet effet de la durée n'est pas propre aux voyages professionnels ; toutefois ces modèles 8 et 9, appliqués aux voyages personnels, fournissent un coefficient a_6 affecté d'un signe positif qui laisse penser que la voiture serait plutôt délaissée lorsque la durée du voyage augmente. Il semble qu'aucune explication logique ne vienne étayer ce résultat. Cependant, l'observation de la matrice des corrélations révèle une corrélation positive de la durée avec la distance (0,229). Or nous avons déjà mis en évidence que l'effet de l'accroissement de la distance est très favorable au train ; il est donc vraisemblable que pour les voyages personnels la distance ait une forte influence sur la durée du séjour, ce qui en oblitère l'effet en tant que variable indépendante. Par contre, la durée des voyages professionnels, moins corrélée à la distance, fait apparaître son effet distinctement.

Dans les trois analyses, le coefficient a_{10} est inférieur lorsque les modèles 9 ou 10 sont appliqués aux voyages personnels. Le test de STUDENT fait apparaître une différence significative. L'effet de la distance mis en évidence précédemment est confirmé, mais il est significativement plus accentué pour les voyages professionnels. Intrinsèquement plus rapide, le train permet de compenser sur de longues distances les pertes de temps occasionnées par les transports terminaux. Les voyages professionnels se montrent donc plus sensibles au gain de temps que les voyages personnels.

33 - Les variables qui accroissent la sensibilité du choix pour les voyages personnels

Pour la réduction chacune des analyses confirme l'effet mis en évidence au niveau de l'analyse globale. Cependant, la valeur du coefficient est significativement plus élevée (tableau VI.13) dans le cas des voyages personnels. Ceci laisse penser que la réduction passive, caractéristique individuelle, constitue toujours un élément de décision dans les voyages effectués à titre personnel tandis que pour les voyages professionnels, elle n'entre en compte que si la décision du choix est laissée à l'individu.

Dans les modèles 9 et 10 le coefficient a_7 n'est significatif que pour les voyages personnels et seulement dans le cadre des analyses logit et probit. La fréquence semble n'exercer aucune influence sur le choix entre train et voiture pour les voyages professionnels. Pour les voyages personnels, au contraire, un accroissement de la fréquence accroît la probabilité de choisir le train. Ce résultat semble indiquer que les voyages professionnels ne sont guère sensibles aux réductions accordées par la SNCF en fonction de la fréquence (carte 1/2 tarif, carte d'abonnement).

Pour les voyages tant personnels que professionnels, le coefficient a_8 est toujours significatif ; il est toutefois significativement plus élevé dans le cas des voyages personnels, ce qui s'explique par leur grande sensibilité au coût. On peut noter également que l'accompagnement contribue pour plus de 50 % au carré de la distance pour les voyages personnels au lieu de 25 % pour les voyages professionnels. Ce critère fait de l'accompagnement la variable la plus explicative du choix du mode de transport pour le motif personnel.

Finalement, la moindre sensibilité des voyages professionnels à la réduction, la fréquence et l'accompagnement traduit une moindre sensibilité au coût du voyage. Le caractère onéreux du voyage ne semble pas être un élément aussi fondamental dans le processus décisionnel d'un voyage professionnel que dans celui d'un voyage personnel.

34 - Deux classements différents des CSP selon le motif

Le modèle 11 intègre la CSP en adoptant la codification du modèle 4. Les résultats présentés dans les tableaux VI.11 conduisent à

établir deux classements par ordre de préférence décroissante pour la route.

Motif professionnel	Motif personnel
1 - Etudiants	1 - Agriculteurs
2 - Patrons ...	2 - Patrons ...
3 - Militaires	3 - Ouvriers
4 - Ouvriers	4 - Professions libérales ...
5 - Cadres moyens	5 - Autres actifs
6 - Agriculteurs	6 - Cadres moyens
7 - Professions libérales ...	7 - Etudiants
8 - Employés	8 - Employés
9 - Autres actifs	9 - Militaires
10 - Non-actifs	10 - Non-actifs

On peut s'étonner de trouver certaines CSP parmi les voyages professionnels. L'examen de la composition de l'échantillon (tableau VI.14) montre que quatre CSP trop peu nombreuses sont à éliminer du premier classement : il s'agit des agriculteurs, des étudiants, des militaires et des non-actifs. Le chiffre un peu plus élevé que l'on obtient pour les étudiants tient, vraisemblablement, à la situation des étudiants salariés qui peuvent considérer le voyage qu'ils effectuent entre leur lieu de travail et leur lieu de domicile ou d'étude comme un voyage professionnel. Comme il s'agit généralement d'un travail d'appoint peu rémunéré, et qu'en plus les étudiants se situent dans la tranche d'âge jeune, il est normal qu'ils aient une préférence prononcée pour la voiture.

Dans ces conditions, on obtient alors le classement suivant pour les voyages professionnels :

1 - Patrons, ...
2 - Ouvriers
3 - Cadres moyens
4 - Professions libérales et cadres supérieurs
5 - Employés
6 - Autres actifs.

L'influence du revenu n'apparaît pas prédominante. Les CSP qui marquent la préférence la plus prononcée pour la voiture sont les plus susceptibles d'être contraintes à transporter du matériel ou des marchandises. La place des "autres actifs" s'explique si l'on considère que parmi eux, il y a des militaires de carrière qui bénéficient d'une réduction de 75 %.

Quand on observe le classement correspondant aux voyages à motif personnel, quelques différences se dégagent. D'abord, les agriculteurs, les plus mal situés par rapport à la gare, sont ceux dont la préférence envers la voiture est la plus affirmée. Ensuite, on trouve les patrons et les ouvriers comme si les habitudes des voyages professionnels les incitaient à employer le même mode de transport pour leurs voyages personnels. Le classement est ensuite très différent, et l'effet-revenu semble moins prépondérant que dans les voyages professionnels, puisque les cadres supérieurs et les professions libérales devancent les autres actifs, les étudiants, les employés, c'est-à-dire un ensemble de professions dont le revenu moyen est moins élevé. Il n'est pas possible de

distinguer parmi les militaires, les non-actifs et les employés, ceux dont la préférence pour le train est la plus marquée, puisque les coefficients de ces variables ne sont pas significativement différents de zéro.

Une remarque s'impose cependant en ce qui concerne les étudiants et les militaires : il est vraisemblable que la plupart d'entre eux sont des non-salariés qui ne sont pas propriétaires de leur voiture. Il ne leur est donc pas toujours possible d'emprunter la voiture, alors qu'ils le souhaiteraient. Ceci explique la place différente qu'occupent les étudiants, selon le motif du voyage : ceux qui considèrent qu'ils effectuent des voyages professionnels sont des salariés vraisemblablement propriétaires de leur véhicule, alors que ce cas est beaucoup plus rare parmi les étudiants qui effectuent des voyages personnels. Néanmoins, les étudiants comme les militaires constituent une catégorie particulière pour laquelle le choix entre le train et la voiture semble ne pas se poser dans les mêmes termes que pour l'ensemble des autres CSP. D'une part, ils peuvent bénéficier de réductions importantes sur le réseau SNCF, d'autre part, même s'ils disposent d'une voiture, ils n'en sont qu'assez peu souvent le propriétaire ou l'utilisateur principal.

L'interprétation de l'influence de l'état de salarié sur le choix avait fait apparaître la nécessité de préciser le motif du voyage. C'est pourquoi nous avons appliqué le modèle 12 qui intègre la variable "salarié" telle qu'elle a été définie précédemment. Le coefficient a_5 est significatif, mais son signe diffère : l'état de salarié est favorable au choix du train lors d'un voyage professionnel, alors qu'il serait favorable au choix de la voiture lors d'un voyage personnel. Bien qu'aucune étude globale précise n'ait été faite, il semble que les entreprises, avant de mettre une voiture à la disposition de leurs employés, prennent en compte certains éléments de coût (amortissement, assurance, ...) qui rendent le train très compétitif pour de nombreux voyages, d'autant plus que sur les liaisons de notre échantillon il est intrinsèquement plus rapide. Les non-salariés ne distinguent pas le plus souvent dans l'utilisation de leur voiture les fins personnelles des fins professionnelles ; leur appréhension du coût est voisine du coût marginal, c'est-à-dire de la seule dépense liée au déplacement. Il est également permis de penser que les non-salariés ont plus de liberté dans le choix du mode de transport, et que dans ces conditions, ils révèlent peut-être mieux leur préférence pour la voiture. Ces conclusions montrent l'intérêt d'une étude précise sur la prise de décision du choix du mode de transport des employés dans une entreprise : qui prend la décision ? A partir de quels éléments ?

Il est évident que la variable "salarié" n'a d'intérêt que pour les voyages professionnels. Si les salariés préfèrent la voiture pour leurs voyages personnels, c'est que les étudiants, les militaires et les non-actifs forment une partie de l'ensemble des non-salariés qui emprunte plus facilement le train pour des raisons diverses déjà mises en évidence.

TABLEAU VI.13

Test de comparaison des coefficients de l'analyse logit selon le motif

Variable	Coefficient		Différence	Ecart-type de la différence	Test de Student	Seuil de signification
	Motif professionnel	Motif personnel				
LDOM	0,6626	0,6208	0,0418	0,153	0,273	0,787
Log REVTC	1,3218	1,1079	0,2139	0,113	1,89	0,059
NPERSF	0,2657	0,3013	- 0,3555	0,050	- 0,71	0,480
REDUC	0,7875	2,3808	- 1,5933	0,285	- 5,60	0,0001
DUREE	- 0,0286	0,0450	- 0,0736	0,015	- 4,78	0,0001
FREQ	- 0,0004	- 0,0121	- 0,0125	0,005	- 2,45	0,015
NPAC	- 1,6250	- 2,1695	- 0,5445	0,027	- 3,30	0,001
TYPVOY	0,8990	0,4773	0,4216	0,391	1,08	0,280
DISTAN	0,0064	- 0,0052	0,0013	692×10^{-6}	1,81	0,070
Log REVEF	1,271	1,119	0,152	0,0949	1,60	0,110

TABLEAU VI.14

Composition de l'échantillon en fonction du motif et de la catégorie socio-professionnelle

	Motif professionnel		Motif personnel	
	Rail	Route	Rail	Route
Agriculteurs	0,3	0,7	0,7	1,5
Etudiants	0,7	2,9	8,8	5,1
Patrons, ...	4,9	12,1	4,5	8,9
Professions libérales, ...	58,1	31,8	27,4	25,1
Cadres moyens	22,7	32,1	14	21,5
Employés	4,5	4,7	12,9	10,2
Ouvriers	3,7	10,4	4,1	15,5
Militaires	0,1	0,1	2,3	0,4
Autres actifs	4,1	4,8	5,8	6,5
Non-actifs	0,9	0,4	19,5	5,3

GRAPHIQUE VI.2

Probabilité du choix du train en fonction de la distance

Tous motifs

- le lieu de domicile se situe dans la région parisienne
- la famille est composée de six personnes
- le voyage est un aller et retour
- le niveau de réduction est de 40 %
- le revenu par unité de consommation est de 6 250 F

ANALYSE LOGIT

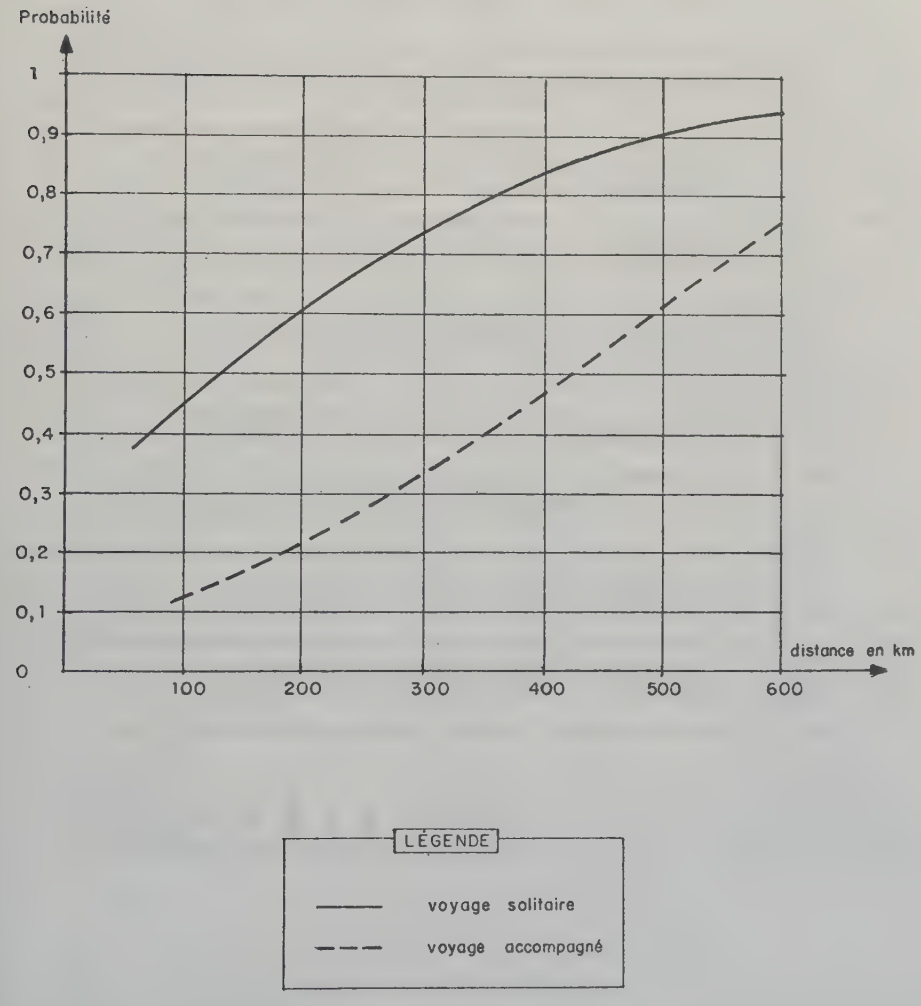


TABLEAU VI.15

Modèle 13

Liaisons	Paris Bordeaux	Paris Lille	Paris Lyon	Paris Nantes	Paris Strasbourg	Paris Metz	Paris Nancy	Paris Clermont.Fd	Paris Dijon	Paris Angers	Paris Amiens	Paris Arras
Variables	Coefficient (t)	Coefficient (t)	Coefficient (t)	Coefficient (t)	Coefficient (t)	Coefficient (t)	Coefficient (t)	Coefficient (t)	Coefficient (t)	Coefficient (t)	Coefficient (t)	Coefficient (t)
NPERSF	0,053469 (0,33)	- 0,11238 (- 1,67)	- 0,013104 (- 0,13)	- 0,044639 (- 0,43)	- 0,068788 (- 0,71)	0,074259 (+ 0,80)	- 0,16143 (- 1,38)	- 0,33790 (- 1,69)	0,20742 (1,48)	- 0,34940 (- 1,47)	- 0,16385 (- 1,27)	0,97513 (0,64)
LOGM	0,96932 (2,28)	1,2166 (5,58)	- 0,60427 (- 2,19)	1,0517 (3,15)	0,86645 (3,02)	0,41413 (1,40)	0,026694 (0,08)	0,43988 (0,72)	1,4613 (3,08)	3,1054 (3,47)	1,0594 (2,70)	1,0072 (2,13)
REUSC	1,9994 (1,94823)	0,48495 (3,07)	0,25039 (0,37)	1,1210 (1,62)	1,5364 (2,5884)	0,23532 (0,41)	1,0976 (1,40)	1,2614 (0,93)	- 0,02144 (- 0,02)	- 4,7092 (- 2,52)	- 0,35296 (- 0,43)	0,99566 (1,33)
RLVEF	1,9131 (4,56)	1,3004 (6,76)	0,85769 (3,66)	1,7497 (5,67)	1,3469 (4,70)	0,96684 (3,61)	2,01 (6,00)	1,8430 (3,23)	0,97321 (2,73)	1,9717 (3,16)	1,1643 (3,89)	1,0112 (2,59)
PATR	0,30062 (0,41)	- 1,4324 (- 2,62)	- 0,74446 (- 1,13)	- 2,4605 (- 3,84)	- 1,9210 (- 2,51)	0,89038 (- 1,28)	- 1,2420 (- 1,40)	1,4112 (0,68)	- 2,2010 (- 2,12)	- 2,1772 (- 1,89)	- 0,29898 (- 0,31)	- 0,81369 (- 0,86)
PR.LIB.	0,73751 (0,98)	0,15632 (0,37)	0,19497 (- 1,01)	- 0,63621 (- 1,0099)	- 0,5896 (0,20)	0,11782 (0,20)	0,05912 (0,09)	0,486610 (0,44)	- 0,019154 (- 0,08)	- 1,1228 (- 0,83)	0,90073 (1,31)	- 0,18959 (- 0,23)
CAD.M.	0,30062 (0,41)	- 0,28673 (- 0,67)	- 0,031895 (- 0,0605)	- 1,2612 (- 2,13)	- 1,2899 (- 2,2395)	0,11710 (0,20)	0,24650 (0,37)	2,5620 (1,30)	0,07386 (0,86)	- 2,2199 (- 1,50)	0,81342 (1,10)	- 0,49874 (- 0,56)
UNVR	- 0,15982 (- 0,16)	- 0,71968 (- 1,16)	- 0,6470 (- 0,77)	- 1,0362 (- 1,27)	0,10464 (0,14)	0,41679 (0,68)	0,14974 (0,15)	1,7375 (0,88)	- 3,6148 (- 1,81)	- 2,1192 (- 1,27)	- 0,91457 (- 0,85)	- 0,25986 (- 0,27)
A.ACT.	1,9533 (1,87)	- 0,10704 (- 0,14)	0,51705 (0,62)	- 0,57134 (- 0,73)	- 0,26119 (- 0,30)	0,86592 (1,09)	0,77517 (0,76)	2,4378 (1,03)	1,6145 (1,80)	5,2013 (0,97)	- 2,2624 (- 1,27)	0,067078 (0,05)
CARREF	- 0,07697 (- 3,56)	0,011509 (0,41)	0,0011846 (0,049)	- 0,05294 (- 1,60)	- 0,018191 (0,57)	0,023234 (- 1,36)	- 0,08753 (- 1,32)	- 0,01537 (- 0,35)	- 0,06798 (- 1,33)	0,11272 (0,98)	- 0,01282 (- 0,12)	- 0,029036 (- 0,54)
FREQ	0,00638 (2,71)	- 0,00223 (- 0,65)	0,014345 (1,75)	- 0,00229 (- 0,34)	- 0,00507 (- 0,58)	- 0,001092 (- 1,57)	0,00516 (0,63)	- 0,01518 (- 0,63)	- 0,02894 (- 2,46)	0,002323 (0,39)	0,00901 (1,94)	0,00772 (1,18)
NPERSV	- 1,1664 (- 3,56)	- 0,90356 (- 4,60)	- 1,1212 (- 5,88)	- 0,37167 (- 2,11)	- 1,0358 (- 4,83)	- 0,47553 (- 2,82)	- 1,1919 (- 4,39)	- 1,5054 (- 3,20)	- 0,91811 (- 2,96)	- 0,66726 (- 1,46)	- 0,62306 (- 2,08)	- 0,44955 (- 1,89)
TYPVOY	- 0,20258 (- 0,27)	1,4231 (2,96)	0,96880 (2,07)	1,3350 (2,63)	0,39606 (0,81)	1,2419 (2,83)	0,92521 (1,02)	1,7874 (1,76)	1,5685 (1,38)	- 0,16821 (- 1,00)	0,17411 (0,28)	- 0,12337 (- 0,18)
CONST	-18,599 (- 4,32)	-15,495 (- 7,59)	- 6,7117 (- 3,67)	-18,570 (- 5,67)	-12,352 (- 4,36)	-10,503 (- 3,86)	-20,245 (- 6,68)	-19,056 (- 3,15)	-12,075 (- 2,99)	-22,441 (- 3,28)	-14,568 (- 4,41)	4,3436 (- 2,67)
Test du ratio de vraisemblance	101,82	104,78	88,62	105,86	97,83	46,56	95,68	47,88	56,76	98,00	60,60	27,94
Degré de liberté	(13)	(13)	(13)	(13)	(13)	(13)	(13)	(13)	(13)	(13)	(13)	(13)
Pseudo-R^2	0,63	0,35	0,31	0,33	0,35	0,22	0,43	0,38	0,44	0,61	0,34	0,27

TABLEAU VI.16

Modèle 14

Liaisons	Paris Boulogne	Paris Lille	Paris Lyon	Paris Nantes	Paris Strasbourg	Paris Metz	Paris Nancy	Paris Clermont.Fd	Paris Dijon	Paris Angers	Paris Amiens	Paris Arras
Variables	Coefficient (t)	Coefficient (t)	Coefficient (t)	Coefficient (t)	Coefficient (t)	Coefficient (t)	Coefficient (t)	Coefficient (t)	Coefficient (t)	Coefficient (t)	Coefficient (t)	Coefficient (t)
NPELGH	0,10428 (0,69)	- 0,36045 (- 2,27)	0,19544 (1,28)	0,04502 (0,26)	0,09530 (0,53)	- 0,2195 (- 1,64)	0,33718 (1,89)	- 0,14242 (- 0,64)	0,02969 (0,18)	0,058511 (0,37)	0,54147 (2,32)	- 1,3808 (- 3,33)
LUXM	0,30625 (0,68)	0,52450 (0,76)	0,05532 (1,56)	- 0,29540 (- 0,58)	0,91951 (2,02)	1,0881 (2,68)	0,76724 (1,49)	- 0,11470 (- 0,17)	0,43571 (0,56)	3,3698 (4,57)	1,8057 (2,63)	2,1480 (2,28)
RLUNG	0,96694 (1,15)	2,0869 (2,14)	2,0087 (2,83)	4,5011 (4,79)	2,9856 (3,06)	1,0156 (2,11)	0,21657 (0,37)	2,8911 (2,56)	0,27351 (0,18)	0,20741 (0,27)	1,9020 (1,91)	14,500 (3,96)
REVET	1,1965 (2,26)	1,8861 (5,33)	0,92252 5 (2,8380)	1,6090 (3,80)	1,6086 (3,63)	1,4891 (4,72)	1,1079 (2,14)	1,4253 (2,67)	0,76781 (1,56)	1,0177 (3,08)	1,8050 (3,92)	2,6510 (2,98)
AGRI	- 5,5611 (- 1,87)	- 6,0267 (- 1,76)	- 1,7348 (- 0,98)	- 0,30 (- 0,30)	- 0,19246 (- 0,12)	- -	- 2,2989 (- 0,77)	4,1861 (1,98)	- 2,7421 (- 0,68)	0,89830 (0,50)	- 4,2708 (- 0,59)	- -
LIND	1,6420 (0,90)	0,80659 (0,97)	- 1,3409 (- 1,54)	- 5,0475 (- 2,43)	0,05542 (0,05)	- 1,9397 (- 1,29)	1,7146 (1,21)	- 3,4795 (- 2,35)	- 2,0186 (-1,3053)	- 1,6734 (- 1,33)	- 1,4980 (- 1,08)	-18,009 (- 1,70)
PAIR	- 2,1760 (- 1,70)	- 0,51391 (- 0,98)	- 0,27212 (- 0,98)	- 0,16202 (- 0,33)	- 0,73193 (- 0,80)	- 2,9982 (- 2,83)	- 1,9251 (- 0,80)	- 4,57 (- 2,70)	- 3,2384 (- 1,78)	- 2,4366 (- 1,85)	- 4,5181 (- 2,83)	- 6,241 (- 2,87)
PR.LIB.	- 2,2946 (- 2,31)	- 1,2342 (- 1,71)	- 0,13272 (- 1,12)	- 1,0951 (- 0,98)	- 1,2407 (- 1,53)	- 2,2519 (- 2,83)	0,94264 (0,71)	- 2,9000 (- 2,34)	- 4,0929 (- 2,87)	- 1,0075 (-1,1387)	- 1,1792 (- 0,89)	- 5,6721 (- 2,96)
CAD.M.	- 1,5596 (- 1,63)	- 0,74902 (- 1,03)	- 1,2321 (- 1,55)	- 0,98623 (- 0,98)	- 0,10830 (- 0,08)	- 1,0412 (- 2,00)	0,08518 (0,06)	- 3,2464 (- 2,61)	- 3,1343 (- 2,85)	- 0,97857 (- 1,00)	0,25827 (0,22)	- 2,4431 (-2,0557)
CAVR	- 2,9011 (- 2,42)	- 0,18720 (- 0,81)	- 0,80985 (- 0,80)	- 0,87892 (- 0,73)	- 1,3811 (- 1,36)	- 1,1411 (- 1,30)	- 1,8932 (- 0,65)	- 5,2348 (- 2,38)	- 4,5994 (- 2,83)	- 1,6528 (- 1,56)	0,12159 (0,14)	- 1,9463 (- 1,16)
MILLI	0,34429 (0,09)	- 6,4469 (- 1,30)	4,2710 (0,85)	3,4329 (0,87)	- 1,0579 (- 0,88)	2,4196 (0,80)	11,196 (0,84)	- -	- -	2,8102 (0,98)	- 0,90171 (- 0,06)	- -
A.ACT	- 0,86108 (- 0,68)	1,5084 (1,63)	- 5,0320 (- 2,80)	- 1,6139 (- 1,36)	- 1,3401 (- 0,99)	1,1660 (- 1,12)	1,8657 (1,83)	- 3,5445 (- 2,04)	- 1,7601 (- 0,95)	- 1,7510 (- 1,23)	- 0,90252 (- 0,73)	-13,932 (- 2,84)
N.ACT	0,43997 (0,40)	0,81668 (0,98)	1,0421 (1,35)	0,85952 (0,81)	0,73701 (0,63)	- 1,9681 (- 2,13)	2,2258 (1,87)	- 0,52693 (- 0,28)	- 1,0905 (- 1,18)	- 1,1401 (- 0,70)	1,2277 (1,39)	- 1,0382 (- 0,57)
DANLE	0,0542%6 (1,33)	- 0,05968 (- 0,78)	0,02480 (0,61)	0,05928 (1,83)	0,05427 (0,86)	0,06518 (1,55)	0,10034 (2,75)	0,01658 (0,27)	0,37785 (2,03)	0,1997%6 (1,39)	0,16918 (0,96)	- 0,00361 (- 0,38)
FREQ.T.	0,01547 (0,87)	0,00245 (0,18)	- 0,00707 (- 0,44)	0,0034%4 (- 0,23)	0,0567 (2,13)	0,00357 (0,25)	0,04418 (1,00)	- 0,00482 (- 0,23)	- 0,00201 (0,06)	0,01733 (0,79)	0,00894 (0,76)	- 0,11952 (- 0,72)
NEGNSV	- 0,97415 (- 3,52)	- 1,3573 (- 4,86)	- 1,6605 (- 6,33)	- 0,21101 (- 0,87)	- 0,10146 (- 1,06)	- 1,1626 (- 4,81)	- 1,0549 (- 2,83)	- 2,5265 (- 5,09)	- 1,4908 (- 2,89)	- 0,54057 (- 2,30)	- 1,0551 (- 3,24)	- 0,68357 (- 2,15)
INFNOY	-	0,55049 (0,82)	1,9406 (1,12)	2,2194 (1,68)	- 0,16622 (- 0,12)	0,91848 (0,80)	2,2922 (0,34)	2,0245 (1,02)	2,1965 (0,88)	- 0,81940 (- 0,60)	2,1529 (0,56)	1,9279 (0,82)
CONST	- 9,1442 (- 2,32)	-17,904 (- 5,06)	- 9,1043 (- 2,60)	-18,752 (- 4,23)	-17,428 (- 3,93)	-14,119 (- 4,34)	-17,105 (- 4,07)	- 0,9405 (- 1,68)	- 9,1422 (- 1,21)	-10,967 (- 3,24)	-24,121 (- 3,70)	-24,662 (- 2,80)
Test du ratio de vraisemblance	70,68	108,059	113,76	85,16	59,64	85,78	58,55	90,45	56,33	70,89	80,07	80,01
Degré de liberté	(16)	(17)	(17)	(17)	(17)	(16)	(17)	(16)	(16)	(17)	(17)	(16)
Probabilité	0,98	0,99	0,99	0,97	0,98	0,99	0,98	0,91	0,67	0,61	0,81	0,72

4 - LA STABILITE DU CARACTERE EXPLICATIF DES VARIABLES SUR L'ENSEMBLE DES LIAISONS

41 - Seulement deux variables stables

Deux variables sont affectées d'un coefficient significatif sur la plupart des liaisons : le revenu et le nombre de personnes en voyage. Toutefois, dans cet ensemble remarquable, il faut noter que la liaison Paris-Dijon n'offre pas de coefficient significatif pour le revenu et, en ce qui concerne la taille du groupe en voyage, Paris-Arras pour les motifs professionnels et Paris-Strasbourg pour les motifs personnels ne présentent pas de coefficients très significatifs. La stratification permet donc de confirmer l'influence du revenu sur le choix entre le train et la voiture, ce qui corrobore notre conclusion relative à l'évolution de leur concurrence. La taille du groupe en voyage s'affirme un élément important dans la détermination du choix et indépendant de la distance du voyage.

42 - Les autres variables

Le niveau de réduction affiche sur toutes les liaisons un coefficient positif pour le motif personnel ; toutefois, sur quatre d'entre elles il n'est pas significatif à un seuil satisfaisant. Le lieu de domicile s'avère, quant à lui, plus significatif pour les voyages professionnels ; on peut noter que la différence de comportement entre provinciaux et parisiens est plus sensible lorsque les provinciaux habitent une agglomération faiblement peuplée.

Toutes les autres variables ne présentent aucun caractère explicatif stable, quel que soit le motif. Ce résultat n'est guère surprenant dans la mesure où l'effectif de nombreux sous-échantillons est assez faible.

CHAPITRE VII

LES VARIABLES D'ACTION

ANALYSE EN TERMES DE TEMPS ET DE COÛTS

Concentrée d'abord sur le rôle des variables individuelles et du voyage, notre étude s'élargit dans ce chapitre au rôle des caractéristiques de l'offre de transport exprimée en termes de temps et de coût. En effet le troisième élément de l'offre, la fréquence ferroviaire offerte, dont certaines études ont montré l'importance sur le trafic ferroviaire, n'a pu être analysée en raison d'une trop forte corrélation avec la distance. Deux modalités ont été envisagées initialement : la fréquence ferroviaire totale (FOT) et la fréquence ferroviaire offerte de jour (FOJ). Comme l'indique le tableau VII.1 la différence entre les moyennes de la fréquence ferroviaire offerte des voyageurs de la route et celles des voyageurs ferroviaires est significative mais ce sont les voyages routiers qui ont la fréquence ferroviaire offerte la plus élevée.

TABLEAU VII.1

Différence des moyennes des fréquences ferroviaires offertes

Motif	Fréquence	Moyenne Route (écart-type)	Moyenne Fer (écart-type)	Différence	T de Student
Professionnel	FOT	11,055 (3,416)	9,983 (3,387)	1,072	8,694
	FOJ	8,847 (3,063)	7,440 (2,765)	1,407	13,304
Personnel	FOT	10,623 (3,537)	9,890 (3,303)	0,733	4,479
	FOJ	8,467 (3,116	7,279 (2,644)	1,188	8,468

L'observation de la matrice des corrélations fait ressortir une forte corrélation de la fréquence ferroviaire (surtout celle de jour) avec la distance :

Corrélation	Motif professionnel	Motif personnel
DISTA-FOT	- 0,430	- 0,417
DISTA-FOJ	- 0,662	- 0,646

L'étude de l'influence de l'offre réclame deux analyses préalables, les renseignements fournis au cours de l'enquête ne donnant pas assez d'informations sur l'alternative non retenue : en particulier pour ceux qui ont pris la route, on ne sait pas par rapport à quelle classe ferroviaire ils ont préféré l'automobile. Or, le temps et surtout les coûts de transport sont étroitement liés à la classe ; nous avons donc fait une étude du choix de la classe des voyageurs ferroviaires motorisés et considéré que le comportement des voyageurs routiers lui est similaire. Pour rendre la comparaison équitable il est aussi nécessaire de connaître le mode terminal qu'auraient choisi les voyageurs routiers s'ils avaient pris le train ; nous avons procédé de même. Dès lors il devient possible d'affecter à chaque voyage, à côté du temps et du coût de transport de l'alternative choisie, un temps et un coût de transport fictifs représentant l'alternative délaissée. On est ainsi théoriquement en mesure d'analyser l'influence du temps et du coût sur le choix modal.

I - ÉTUDES PRÉLIMINAIRES

1 - LE CHOIX DE LA CLASSE DES VOYAGEURS MOTORISES

11 - Les modèles et la qualité de l'ajustement

Les trois modèles se distinguent par la notion de revenu qu'ils intègrent : revenu individuel, revenu de la famille et revenu familial dichotomisé par tranche. En effet il est apparu que le revenu est la variable la plus discriminante ; il devenait donc nécessaire de rechercher la forme qui révèle le mieux son influence. En outre nous avons repris la stratification selon le motif puisque elle s'était révélée efficace dans l'analyse de la concurrence rail-route et pour toutes les autres variables nous avons conservé la même codification (cf. chapitres V et VI).

MODELE C I (tableaux VII.2)

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ LDOM} + a_2 \text{ Log REVEF} + a_3 \text{ NPERSF} + a_4 \text{ REDUC}$$
$$+ a_5 \text{ SALAR} + a_6 \text{ DUREE} + a_7 \text{ FREQ} + a_8 \text{ NPERSV} + a_{10} \text{ DISTAN}$$

MODELE C II (tableaux VII.3)

$$G(X) = a_0 = a_1 \text{ LDOM} + a_2 \text{ Log REVET} + a_3 \text{ NPERSF} + a_4 \text{ REDUC}$$
$$+ a_5 \text{ SALAR} + a_6 \text{ DUREE} + a_7 \text{ FREQ} + a_8 \text{ NPERSV} + a_{10} \text{ DISTAN}$$

MODELE C III (tableaux VII.4 et VII.5)

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ LDOM} + a_{21} \text{ REV (1)} + a_{22} \text{ REV (2)} + a_{23} \text{ REV (3)}$$
$$+ a_{25} \text{ REV (5)} + a_{26} \text{ REV (6)} + a_{27} \text{ REV (7)} + a_{28} \text{ REV (8)}$$
$$+ a_{29} \text{ REV (9)} + a_3 \text{ NPERSF} + a_4 \text{ REDUC} + a_5 \text{ SALAR} + a_6 \text{ DUREE}$$
$$+ a_7 \text{ FREQ} + a_8 \text{ BOERSV} + a_{10} \text{ DISTAN}$$

Tous les modèles obtiennent des résultats satisfaisants puisqu'on peut rejeter l'hypothèse d'indépendance avec un risque d'erreur inférieur à 1°/₀₀ quelle que soit l'analyse utilisée. On remarque que le pseudo-R^2 est plus élevé pour les voyages personnels que professionnels ; cette différence se retrouve pour le D^2 de l'analyse discriminante. Au vu de ces résultats, il semble que les modèles que l'on utilise expliquent globalement mieux le choix de la classe dans le cadre des voyages personnels où sans doute les caractéristiques individuelles recèlent un pouvoir explicatif supérieur.

TABLEAU VII.2

Analyse du choix de la classe

Motif professionnel

MODELE C I $G(X) = a_0 + a_1$ LDOM $+ a_2$ Log REVEF $+ a_3$ NPERSF $+ a_4$ REDUC $+ a_5$ SALAR $+ a_6$ DUREE $+ a_7$ FREQ $+ a_8$ NPERS[illegible] $+ a_{10}$ DISTAN

	ANALYSE LOGIT		ANALYSE PROBIT		ANALYSE DISCRIMINANTE		
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student sur la comparaison des moyennes	Contribution au carré de la distance
a_0	- 19,436	- 12,882	- 11,215	- 13,449	- 19,612		
a_1	- 0,476	- 3,497	- 0,276	- 3,501	- 0,517	4,78	0,0699
a_2	2,054	14,449	1,187	15,356	1,984	17,75	1,0830
a_3	- 0,097	- 2,248	- 0,053	- 2,102	- 0,086	1,92	- 0,0161
a_4	0,181	0,736	0,102	0,708	0,127	1,23	- 0,0025
a_5	0,450	1,771	0,255	1,723	0,485	1,40	0,0100
a_6	- 0,013	- 1,190	- 0,008	- 1,163	- 0,019	3,44	0,0197
a_7	0,007	2,115	0,004	2,144	0,006	3,05	0,0227
a_8	0,079	0,792	0,046	0,806	0,035	0,24	- 0,0003
a_{10}	$- 0,10 \times 10^{-2}$	- 1,772	$- 0,61 \times 10^{-3}$	- 1,806	$- 0,10 \times 10^{-2}$	2,26	- 0,0163
	Test de ratio de vraisemblance 326, 74 Nombre de degrés de liberté 9 Seuil de signification 0,001 Pseudo - R^2 0,285		Test du ratio de vraisemblance 324,85 Nombre de degrés de liberté 9 Seuil de signification 0,001 Pseudo - R^2 0,284		Carré de la distance 1,2027 F (degrés de liberté) (9 [illegible] 39,61 Seuil de signification 0,0001		

Analyse du choix de la classe

Motif personnel

MODELE C I $G(X) = a_0 + a_1$ LDOM $+ a_2$ Log REVEF $+ a_3$ NPERSF $+ a_4$ REDUC $+ a_5$ SALAR $+ a_6$ DUREE $+ a_7$ FREQ $+ a_8$ NPERSV $+ a_{10}$ DISTAN

	ANALYSE LOGIT		ANALYSE PROBIT		ANALYSE DISCRIMINANTE		
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student sur la comparaison des moyennes	Contribution au carré de la distance
a_0	- 19,299	- 9,972	- 10,913	- 10,433	- 18,557		
a_1	0,349	1,838	0,184	1,629	0,324	1,37	0,0181
a_2	2,000	10,601	1,134	11,203	1,938	11,67	1,1650
a_3	- 0,340	- 5,296	- 0,191	- 5,177	0,320	1,12	0,0527
a_4	0,628	2,253	0,353	2,111	0,557	1,44	- 0,0233
a_5	- 0,178	- 0,876	- 0,099	- 0,818	- 0,201	0.05	0,0004
a_6	- 0,041	- 2,149	- 0,024	- 2,264	- 0,032	2,49	0,0371
a_7	- 0,011	- 1,436	- 0,006	- 1,420	- 0,011	0,77	0,0085
a_8	- 0,197	- 2,240	- 0,112	- 2,217	- 0,199	1,95	0,0375
a_{10}	$- 0,43 \times 10^{-3}$	- 0,524	$- 0,25 \times 10^{-3}$	- 0,511	$- 0,52 \times 10^{-3}$	1,04	0,0047
	Test de ratio de vraisemblance 173,37		Test du ratio de vraisemblance 169,04		Carré de la distance		1,3008
	Nombre de degrés de liberté 9		Nombre de degrés de liberté 9		F (degrés de liberté) (9 - 595)		21,55
	Seuil de signification 0.001		Seuil de signification 0.001		Seuil de signification		0,0001
	Pseudo - R^2 0,332		Pseudo - R^2 0,325				

Analyse du choix de la classe

Motif professionnel

MODELE C II $G(X) = a_0 + a_1$ LDOM $+ a_2$ Log REVEF $+ a_3$ NPERSF $+ a_4$ REDUC $+ a_5$ SALAR $+ a_6$ DUREE $+ a_7$ FREQ $+ a_8$ NPERSV $+ a_{10}$ DISTAN

	ANALYSE LOGIT		ANALYSE PROBIT		ANALYSE DISCRIMINANTE		
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student sur la comparaison des moyennes	Contribution au carré de la distance
a_0	- 17,606	- 12,230	- 10,142	- 12,759	17,889		
a_1	- 0,475	- 3,515	- 0,273	- 3,485	0,513	4,78	0,0694
a_2	1,853	13,903	1,069	14,795	1,803	14,47	0,9105
a_3	0,371	7,829	0,215	8,033	0,360	1,92	0,0671
a_4	0,018	0,075	0,007	0,047	0,041	1,23	0,0008
a_5	0,507	1,999	0,291	1,973	0,534	1,40	0,0110
a_6	- 0,016	- 1,366	- 0,009	- 1,416	- 0,021	3,44	0,0220
a_7	0,007	2,196	0,004	2,207	0,006	3,05	0,0241
a_8	0,087	0,899	0,053	0,935	0,043	0,24	- 0,0004
a_{10}	$- 0,85 \times 10^{-3}$	- 1,495	$- 0,51 \times 10^{-3}$	- 1,518	$- 0,86 \times 10^{-3}$	2,26	0,0135
	Test de ratio de vraisemblance 304.2		Test du ratio de vraisemblance 302,05		Carré de la distance		1,1180
	Nombre de degrés de liberté 9		Nombre de degrés de liberté 9		F (degrés de liberté) (9 - 1468)		36,8213
	Seuil de signification 0,001		Seuil de signification 0,001		Seuil de signification		0,0001
	Pseudo - R^2 0.267		Pseudo - R^2 0,266				

TABLEAU VII.3

Analyse du choix de la classe

Motif personnel

MODELE C II $G(X) = a_0 + a_1$ LDOM $+ a_2$ Log REVEF $+ a_3$ NPERSF $+ a_4$ REDUC $+ a_5$ SALAR $+ a_6$ DUREE $+ a_7$ FREQ $+ a_8$ NPERSV $+ a_{10}$ DISTAN

	ANALYSE LOGIT		ANALYSE PROBIT		ANALYSE DISCRIMINANTE		
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student sur la comparaison des moyennes	Contribution au carré de la distance
a_0	- 17,321	- 9,571	- 9,663	- 9,940	- 16,661		
a_1	0,345	1,841	0,181	1,624	0,331	1,37	0,0185
a_2	1,787	10,226	1,001	10,758	1,726	12,05	1,1038
a_3	0,121	2,117	0,068	2,002	0, 124	1,12	- 0,0204
a_4	0,574	2,079	0,314	1,896	0,496	1,44	- 0,0208
a_5	- 0,191	- 0,953	- 0,108	- 0,907	- 0,215	0,05	0,0005
a_6	- 0,039	- 2,000	- 0,023	2,125	- 0,030	2,49	0,0353
a_7	- 0,013	- 1,674	- 0,007	- 1,630	- 0,012	0,77	0,0099
a_8	- 0,205	- 2,322	- 0,114	- 2,289	- 0,202	1,95	0,0378
a_{10}	$- 0,35 \times 10^{-3}$	- 0,426	$- 0,20 \times 10^{-3}$	- 0,401	$- 0,37 \times 10^{-3}$	1.04	0,0037
	Test de ratio de vraisemblance 158, 10		Test du ratio de vraisemblance 152, 52		Carré de la distance 1, 1684		
	Nombre de degrés de liberté 9		Nombre de degrés de liberté 9		F (degrés de liberté) (9 - 545) 19, 365		
	Seuil de signification 0, 001		Seuil de signification 0, 001		Seuil de signification 0, 0001		
	Pseudo - R^2 0, 307		Pseudo - R^2 0, 297				

TABLEAU VII.3

TABLEAU VII.4

Analyse du choix de la classe

Motif professionnel

MODELE C III $G(X) = a_0 + a_1$ LDOM $+ a_{21}$ REV (1) $+ a_{22}$ REV (2) $+ a_{23}$ REV (3) $+ a_{25}$ REV (5) $+ a_{26}$ REV (6) $+ a_{27}$ REV (7) $+ a_{28}$ REV (8) $+ a_{29}$ REV (9) $+ a_3$ NPERSF $+ a_4$ REDUC $+ a_5$ SALAR $+ a_6$ DUREE $+ a_7$ FREQ $+ a_8$ NPERSV $+ a_{10}$ DISTAN

	ANALYSE LOGIT		ANALYSE PROBIT		ANALYSE DISCRIMINANTE		
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student sur la comparaison des moyennes	Contribution au carré de la distance
a_0	0,389	0,832	0,202	0,734	- 0,139		
a_1	- 0,487	- 3,546	- 0,280	- 3.528	- 0,480	4,78	0,0649
a_{21}	- 4,249	- 1,131	- 2,652	- 0,901	- 2,391	2,78	0,0173
a_{22}	- 0,687	- 1,238	- 0,397	- 1,217	- 0,755	4,74	0,0238
a_{23}	- 0,191	- 0,641	- 0,113	- 0,623	- 0,263	8,12	0,0273
a_{25}	1,073	5,303	0,667	5,362	1,631	3,95	- 0,1577
a_{26}	2,043	9,780	1,239	9,954	2,778	5,94	0,4424
a_{27}	2,772	10,031	1,620	10,543	3,344	6,65	0,4631
a_{28}	3,445	8,209	1,982	8,891	3,609	5,65	0,3107
a_{29}	4,146	5,529	2,356	5,716	3,805	3,88	0,1446
a_3	- 0,097	- 2,246	- 0,053	- 2,101	- 0,100	1,92	- 0,0187
a_4	0,193	0,777	0,107	0,745	0,265	1,23	- 0,0052
a_5	0,433	1,691	0,242	1,629	0,485	1,40	0,0100
a_6	- 0,015	- 1,306	- 0,008	- 1,265	- 0,019	3,44	0,0197
a_7	0,007	1,988	0,004	2,021	0,006	3,05	0,0245
a_8	0,066	0,669	0,042	0,730	0,209	0,24	0,0019
a_{10}	- 0,10 x 10^{-2}	- 1,734	- 0,60 x 10^{-3}	- 1,779	- 0,10 x 10^{-2}	2,26	0,0163
	Test du ratio de vraisemblance 331,67		Test du ratio de vraisemblance 331,91		Carré de la distance		1,3851
	Nombre de degrés de liberté 16		Nombre de degrés de liberté 16		F (degrés de liberté) (16 - 1460)		24,3818
	Seuil de signification 0,001		Seuil de signification 0,001		Seuil de signification		0,0001
	Pseudo - R^2 0,289		Pseudo - R^2 0,289				

TABLEAU VII.5

Analyse du choix de la classe

Motif personnel

MODELE C III $G(X) = a_0 + a_1$ LDOM $+ a_{21}$ REV (1) $+ a_{22}$ REV (2) $+ a_{23}$ REV (3) $+ a_{25}$ REV (5) $+ a_{26}$ REV (6) $+ a_{27}$ REV (7) $+ a_{28}$ REV (8) $+ a_{29}$ REV (9) $+ a_3$ NPERSF $+ a_4$ REDUC $+ a_5$ SALAR $+ a_6$ DUREE $+ a_7$ FREQ $+ a_8$ NPERSV $+ a_{10}$ DISTAN

	ANALYSE LOGIT		ANALYSE PROBIT		ANALYSE DISCRIMINANTE		
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student sur la comparaison des moyennes	Contribution au carré de la distance
a_0	- 0,224	- 0,382	- 0,158	- 0,455	- 0,2119		
a_1	0,374	1,927	0,212	1,843	0, 365	1, 37	0,0204
a_{21}	- 0,007	- 0,011	0,021	0,051	0,031	1,09	- 0,0004
a_{22}	- 1,346	- 1,804	- 0,766	- 1,749	- 0,920	3,85	0,0533
a_{23}	- 0,577	- 1,490	- 0,338	- 1,510	- 0,516	6,35	0,0908
a_{25}	1,464	4,426	0.872	4,446	1,643	0.46	0,0239
a_{26}	2,158	6,711	1,289	6,847	2,433	4,15	0,3574
a_{27}	2,726	6,915	1,606	7,064	3,021	3,89	0,3165
a_{28}	3,837	5,711	2,249	6,080	3,846	4,44	0,2875
a_{29}	4, 788	5,095	2,851	5,215	4,409	3,97	0,2390
a_3	- 0,341	- 5,234	- 0,198	- 5,247	- 0,331	1,12	0,0544
a_4	0,605	2,112	0,344	2,007	0,526	1,44	- 0,0220
a_5	- 0,109	- 0,522	- 0,055	- 0,447	- 0,093	0,05	0,0002
a_6	- 0,044	- 2,225	- 0,025	- 2,305	- 0,034	2,49	0,0397
a_7	- 0,008	- 1,064	- 0,005	1,059	- 0,008	0,77	0,0061
a_8	- 0,216	- 2,400	- 0,119	- 2,312	- 0,266	1,95	0,0492
a_{10}	$- 0,53 \times 10^{-3}$	- 0,619	$- 0,29 \times 10^{-3}$	- 0,564	$- 0,46 \times 10^{-3}$	1,04	0,0046
	Test du ratio de vraisemblance 192,05 Nombre de degrés de liberté 16 Seuil de signification 0,001 Pseudo - R^2 0,363		Test du ratio de vraisemblance 191,32 Nombre de degrés de liberté 16 Seuil de signification 0,001 Pseudo - R^2 0,362		Carré de la distance 1,5206 F (degrés de liberté) (16 - 587) 13,14 Seuil de signification 0,0001		

12 - Un effet prépondérant : l'effet - revenu ou pouvoir d'achat

L'effet pouvoir d'achat s'analyse principalement à travers le revenu et accessoirement à travers la taille de la famille. Quelle que soit sa forme d'introduction, le revenu détient le plus grand pouvoir explicatif. Ainsi, dans les modèles C I et C II, sa contribution au carré de la distance atteint près de 90 %. Le test de comparaison appliqué aux coefficients de l'analyse logit ne permet pas de refuser l'hypothèse que la sensibilité du revenu serait différente selon le motif. Toutefois le graphique VII.1 montre que pour un même revenu, la probabilité de choisir la première classe est toujours supérieure pour les voyages professionnels. La variation de la probabilité est très forte puisqu'elle varie de moins de 10 % pour les plus faibles revenus à plus de 90 % pour les revenus les plus élevés.

A partir du modèle C III on a pu calculer une approximation de l'élasticité du choix de la première classe par rapport au revenu (1). Les résultats sont rassemblés dans le tableau VII.8. Pour les deux motifs l'élasticité est assez faible jusqu'à un revenu de 17 500 F ; elle croît très vite de 17 500 F à 25 000 F, ce qui indique que c'est dans cette tranche que le changement de classe se fait le plus en fonction du revenu. Au-delà de 25 000 F l'élasticité décroît et le choix de la première classe est mieux établi.

Il est évident que la différence de coût du voyage entre la première et la seconde classe explique l'influence du revenu. Mais l'acceptation d'un coût supplémentaire, dont le montant s'avère mal connu surtout des voyageurs de seconde classe (2), peut avoir de nombreuses motivations, sans qu'il soit possible de savoir quelles sont les plus importantes. La première motivation qui vient à l'esprit est la recherche d'un plus grand confort ; initialement c'était la distinction fondamentale entre les classes ferroviaires mais actuellement avec le développement des trains à première classe unique le choix peut se justifier par le seul gain de temps et la commodité des horaires. Enfin, n'oublions pas que le voyage en première classe peut être perçu comme un signe distinctif très valorisant dont naturellement les plus fortunés sont les plus aptes à accepter le surcroît de coût correspondant.

La taille de la famille est très corrélée avec le revenu et le signe de son coefficient dépend de la notion de revenu intégrée. Si l'on prend le revenu de la famille, l'accroissement de la taille du ménage a un effet défavorable sur le choix de la première classe ; c'est l'effet contraire qui se révèle lorsqu'on prend le revenu par unité de consommation. L'explication de cette divergence est la même que celle que l'on observe dans le choix entre le train et l'automobile. Les résultats doivent s'interpréter en termes de pouvoir d'achat ; la taille de la famille précise cette influence mais n'apporte pas d'explication autonome.

---

(1) Les coefficients des différentes tranches de revenu ont une évolution d'allure logarithmique en fonction de la taille du revenu, dont la seule exception est le coefficient de la plus faible tranche de revenu pour le motif personnel. Cette exception traduit une différence de dépendance de l'individu vis-à-vis du revenu déclaré selon le motif, elle ne se relève que parmi les tranches de faibles revenus quel que soit le mode envisagé.

(2) 15 % seulement des voyageurs de seconde classe ont une connaissance précise de la différence de prix.

13 - Des résultats différents selon le motif

Dans le cadre des voyages professionnels, le fait d'être parisien est favorable au choix de la première classe, alors que cela n'a aucune influence significative dans le cadre des voyages personnels. Ce résultat est vraisemblablement la conséquence de la structure centralisée de la France où la capitale abrite non seulement toutes les administrations centrales mais aussi la plupart des sièges sociaux des grandes firmes. Ce déséquilibre explique en partie la préférence plus prononcée des parisiens pour la première classe.

Alors que la fréquence s'avérait peu explicative du choix entre l'automobile et le train, elle intervient de façon significative dans le choix de la classe ferroviaire pour les voyages professionnels. Pour tenter d'expliquer ce résultat, il faut considérer la différence de fréquence selon le motif. La fréquence des voyages professionnels est beaucoup plus élevée que celle des voyages personnels (cf. tableau VII.7). Il apparaît plus avantageux de bénéficier de réduction (cartes demi-tarif, cartes d'abonnement) pour des voyages professionnels ; l'abonnement, en particulier, est d'autant plus avantageux en première classe qu'il donne accès non seulement à la première classe ordinaire mais à tous les trains uniquement première classe sans supplément de coût. Ainsi l'éventail des possibilités s'accroît sans frais supplémentaire ; d'autre part, les tranches horaires qui conviennent le mieux aux voyages professionnels sont souvent occupées par des trains uniquement première classe et il est normal que le voyageur ou la firme n'hésite pas à choisir la première classe lorsque le voyage s'effectue régulièrement. Plus fréquent est le voyage, plus évident apparaît l'intérêt de la première classe et plus appréciés sont les gains de temps. Ces raisons pourraient être invoquées pour le voyage personnel en train, mais parce que la fréquence moyenne est plus faible, parce que les contraintes d'horaires sont moins impérieuses, la fréquence des voyages personnels a moins d'influence sur le choix de la classe.

La réduction passive et la taille du groupe en voyage ne se révèlent influentes que pour les voyages personnels. Ainsi, lorsqu'on bénéficie d'un niveau de réduction élevé, la tendance à choisir la première classe s'accentue : résultat logique car la différence de prix s'atténue en valeur absolue au fur et à mesure que le niveau de réduction augmente. La préférence pour la première classe (confort, gain de temps, sentiment d'appartenance à un groupe, ...) se manifeste d'autant plus facilement que le coût absolu est faible. La même sensibilité au coût se retrouve à travers le résultat de la taille du groupe en voyage. Lorsque celle-ci s'élève, le choix se porte plus facilement sur la seconde classe ; parallèlement le supplément de prix absolu s'élève fortement et si l'on considère que pour les voyages personnels c'est le même revenu familial qui souvent supporte l'ensemble des frais, il est normal que le choix se porte plutôt sur la seconde classe (1).

Mais alors que le choix s'avère sensible à la taille du groupe, il ne l'est pas à la distance qui pourtant joue dans le même sens sur le prix du voyage ; on peut penser que le supplément de coût n'est pas perçu uniformément.

---

(1) L'effet de la taille du groupe en voyage n'est mis en évidence qu'au-delà de quatre personnes.

A travers ce résultat il transparaît que le voyageur renonce plus volontiers aux avantages de la première classe lorsque la taille du groupe augmente qu'il ne le fait lorsque la distance augmente. Sans doute la différence de confort, le gain de temps, sont-ils d'autant plus appréciés lorsque la distance s'accroît, sinon la variation absolue de coût imputable à l'accroissement de la distance devrait logiquement provoquer une diminution de faveur de la première classe.

Enfin, pour le motif personnel, le choix de la classe se montre sensible à la durée du séjour. Il semble donc que le gain de temps et les avantages de confort soient d'autant plus appréciés que le séjour à destination est court.

Parmi les quelques variables significatives soulignées par cette analyse du choix de la classe des voyageurs motorisés, se détache nettement par son pouvoir explicatif le revenu. Nous l'avons retenu seul pour attribuer les temps et les coûts ferroviaires fictifs des voyageurs routiers afin de ne pas alourdir les calculs. Comme aucun seuil de revenu ne sépare distinctement les deux classes, nous avons calculé ces variables fictives comme des moyennes pondérées des variables des deux classes, les coefficients de pondération étant les proportions de voyageurs de chaque classe pour toutes les tranches de revenu (cf. tableau VII.9).

TABLEAU VII.6

Test de comparaison des coefficients de l'analyse logit selon le motif

Variable	Coefficient		Différence	Ecart-type de la différence	Test de Student	Seuil de signification
	Motif professionnel	Motif personnel				
LDOM	- 0,476	0,349	- 0,825	0,233	3,54	0,0001
Log REVEF	2,054	2,000	0,054	0,236	0,22	0,826
Log REVET	1,853	1,787	0,066	0,219	0,30	0,764
NPERSF	- 0,097	- 0,340	- 0,243	0,077	- 3,15	0,0001
REDUC	- 0,181	- 0,628	- 0,447	0,372	1,20	0,230
DUREE	- 0,013	- 0,041	- 0,028	0,022	1,27	0,204
FREQ	0,007	- 0,011	0,018	0,008	2,25	0,026
NPERSV	0,079	- 0,197	0,276	0,132	2,09	0,036

TABLEAU VII.7

Caractéristiques moyennes selon la classe et le motif

Variable	MOTIF PROFESSIONNEL			MOTIF PERSONNEL		
	1ère classe	2ème classe	1ère classe et 2ème classe	1ère classe	2ème classe	1ère classe et 2ème classe
LDOM	1,551	1,686	1,59	1,557	1,502	1,52
REVEF	40 741	23 600	35 941	37 991	20 785	29 380
REVET	18 033	10 872	16 027	18 694	9 877	14 280
NPERSF	3,558	3,372	3,36	3,172	3,337	3,25
REDUC	0,146	0,165	0,15	0,234	0,276	0,25
DUREE	2,397	3,437	2,68	3,007	4,168	3,58
FREQ	18,967	15,155	17,899	7,875	8,670	8,27
NPERSV	1,227	1,237	1,23	1,476	1,663	1,56
DISTAN	371,94	387,55	376, 00	371,11	381,11	376, 00

TABLEAU VII.8

Elasticité du choix de la première classe par rapport au revenu

Tranche de revenu annuel	Elasticité du choix de la 1ère classe	
	Motif professionnel	Motif personnel
de 3 000 à 8 000	0,177 (1)	- 0,150 (1)
de 8 000 à 12 500	0,184 (1)	0,186
de 12 500 à 17 500	0,113 (1)	0,232 (1)
de 17 500 à 25 000	0,711	0,899
de 25 000 à 40 000	0,457	0,370
de 40 000 à 60 000	0,267	0,267
de 60 000 à 85 000	0,172	0,359
plus de 85 000	0,101	0,139

(1) Elasticité non significativement différente de 0.

TABLEAU VII.9

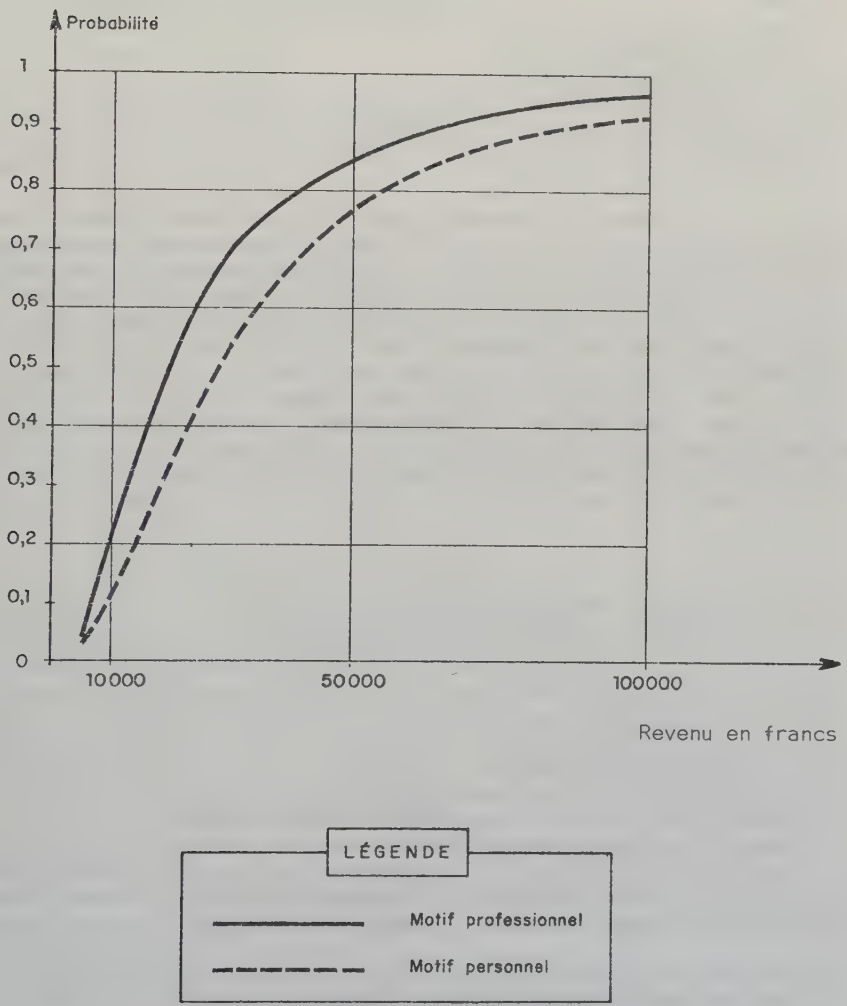
Répartition des voyageurs entre la 1ème classe et la 2ème classe selon le revenu de la famille et le motif du voyage

Revenu de la famille en francs	Classe ferroviaire	Motif professionnel	Motif personnel	Tous motifs
- de 6 000	1ère	0	6,7	6
	2ème	100	93,3	94
de 6 000 à 10 000	1ère	13,2	4,6	8,4
	2ème	86,8	95,4	91,6
de 10 000 à 15 000	1ère	22,9	10,9	16,5
	2ème	77,1	89,1	83,5
de 15 000 à 20 000	1ère	28,0	15,4	23,3
	2ème	72,0	84,6	76,7
de 20 000 à 30 000	1ère	57,4	39,0	53,2
	2ème	42,6	61,0	46,8
de 30 000 à 50 000	1ère	72,3	48,3	65,8
	2ème	27,7	51,7	34,2
de 50 000 à 100 000	1ère	88,2	47,1	74,2
	2ème	11,8	52,9	25,8
+ de 100 000	1ère	97,1	100	98,1
	2ème	2,9	0	1,9

GRAPHIQUE VII.1

Analyse du choix de la classe

Probabilité de choix de la première classe
en fonction du revenu de la famille d'un voyageur
dont les caractéristiques seraient les caractéristiques
moyennes selon le motif



2 - LE CHOIX DU MODE DE TRANSPORT TERMINAL

Afin que le voyage routier réel puisse être comparé à un voyage ferroviaire de porte à porte, l'analyse complète du choix entre l'automobile et le chemin de fer nous amène à étudier le choix du mode de transport terminal (1).

L'enquête ferroviaire a retenu dix modalités de transport terminal possibles :

1 - train de banlieue
2 - autocar
3 - taxi
4 - transports urbains
5 - accompagnement en voiture
6 - voiture laissée à la gare
7 - voiture sans chauffeur
8 - marche à pied
9 - autres ou plusieurs
10 - avion

En raison de cette multiplicité l'analyse a été conduite en deux temps. Nous avons d'abord établi des tableaux de contingence auxquels nous avons appliqué l'analyse des correspondances afin de faire apparaître certaines proximités entre les divers modes. Mais cette étude ne suffit pas pour affecter les caractéristiques du mode fictif, il est nécessaire de rendre binaire le choix du mode terminal. Les résultats de l'analyse des correspondances confirment l'intérêt du regroupement en modes de transport terminal personnels et collectifs. Dans un second temps l'application de l'analyse logit a produit en fonction d'un ensemble de variables des probabilités de choix qui ont servi à élaborer un temps et un coût de transport terminal fictif, affectés à chaque voyageur automobiliste.

21 - L'analyse des proximités des modes terminaux

Nous avons établi deux séries de tableaux de contingences à partir de quatre variables :

- le revenu (neuf modalités)
- l'origine - destination (deux modalités)
- le lieu de domicile (deux modalités : Paris - Province)
- le mode de transport terminal (huit modalités) (2).

La première série de tableaux situe les huit modes par rapport aux quatre variables alors que le second considère qu'il y a seize modes

---

(1) Pour des raisons pratiques nous n'avons fait l'analyse du choix du mode de transport que dans la région parisienne.

(2) Nous n'avons retenu que huit modalités car comme on s'y attend, aucun individu n'a utilisé l'avion ni l'autocar comme mode de transport terminal à Paris.

de transport puisque chacun des modes initiaux est séparé en mode à l'origine et mode à destination. Chaque série est établie pour les deux motifs. Nous avons recherché les trois premiers axes factoriels. Les résultats présentés dans le tableau VII.10 indiquent que trois facteurs suffisent largement à expliquer plus de la moitié de la dispersion de l'information. D'autre part la distinction entre modes terminaux à l'origine et à destination n'est guère fructueuse puisque, quel que soit le motif, les résultats de la première série sont légèrement meilleurs que ceux de la seconde ; en outre, l'analyse graphique des proximités n'apporte guère d'information nouvelle. C'est pourquoi sont seuls présentés les graphiques de la première série.

211 - Interprétation des axes factoriels

Aucune similitude n'est à noter entre les graphiques des voyages professionnels et ceux des voyages personnels (cf. graphique VII.2 à VII.5). Le transport terminal s'envisagerait donc de façon bien différente selon le motif.

Dans le cas des voyages personnels le premier axe correspond tout à fait, semble-t-il, au pouvoir d'achat puisqu'il oppose les voyageurs à revenu élevé aux voyageurs à revenu faible, ainsi que des modes de transport individuel chers à des modes de transport public meilleur marché. Le second axe factoriel s'interprète sans difficulté en termes de localisation ; en particulier les parisiens se détachent assez nettement des provinciaux. Par rapport au troisième axe la plupart des modes de transport se situe au même niveau, exceptée la catégorie qui regroupe "autre mode ou plusieurs". Cette répartition laisse penser que le troisième facteur regrouperait tout ce qui concerne l'importance du déplacement dans la région parisienne. L'essentiel de l'information est contenu dans le premier plan dont l'interprétation dégage quelques indications intéressantes sur la proximité des modes.

Dans le cas des voyages professionnels les deux premiers axes ont les mêmes significations mais leur classement est inverse. Le premier oppose de façon très nette les provinciaux aux parisiens, la voiture sans chauffeur à la voiture laissée à la gare. La localisation est le facteur prépondérant pour les voyages professionnels. Sur le second axe les voyages s'échelonnent en fonction du revenu du voyageur : il s'agit bien du facteur pouvoir d'achat. L'importance du déplacement terminal constitue le troisième facteur de façon plus nette que dans le cadre des voyages personnels. La marche à pied s'oppose clairement au train de banlieue et à la catégorie "autre mode ou plusieurs".

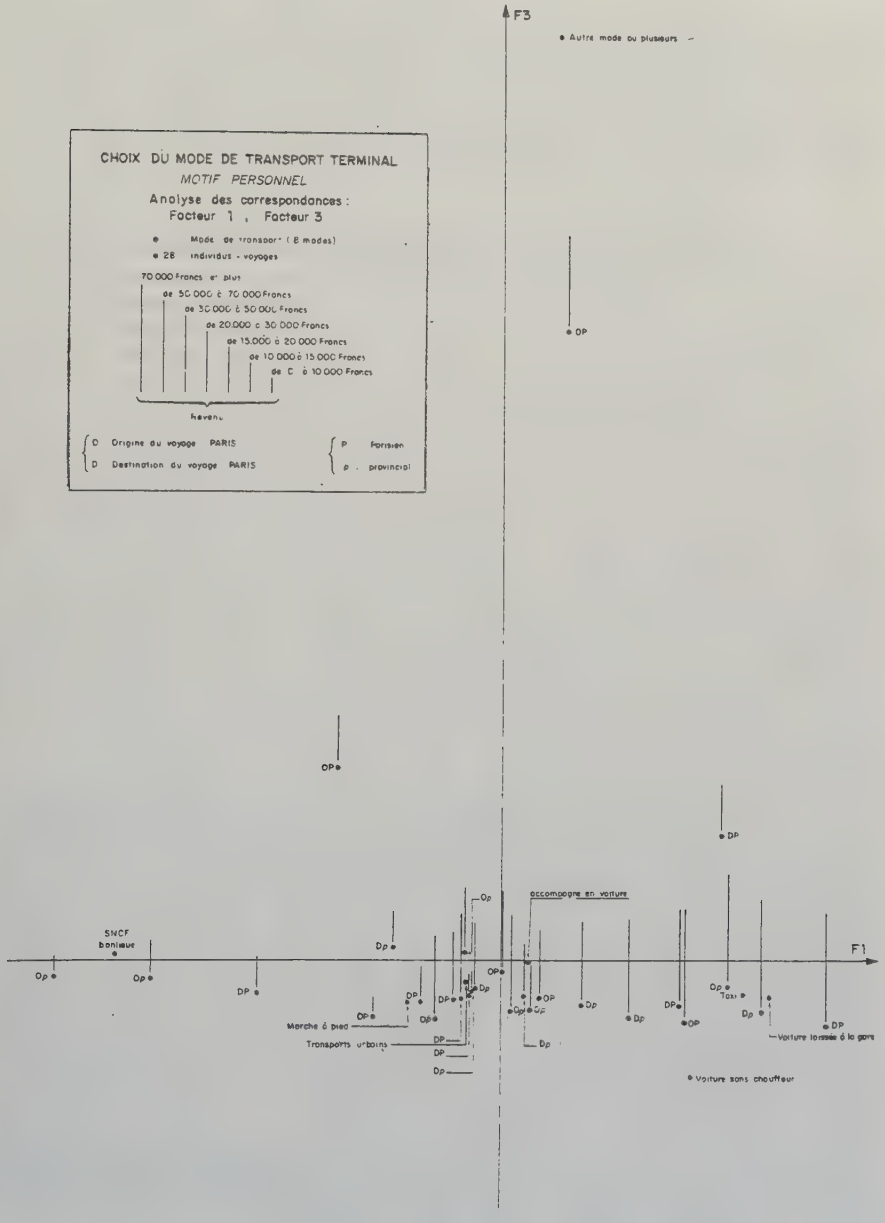
Malgré des graphiques apparemment divergents, le choix du mode terminal s'explique par les trois mêmes facteurs pour les deux motifs, seul l'ordre des facteurs change.

GRAPHIQUE VII.2

GRAPHIQUE VII.3

GRAPHIQUE VII.4

GRAPHIQUE VII.5



212 - Analyse des proximités entre modes de transport

L'information dont nous disposons grâce à l'enquête du Service Régional du Ministère de l'Equipement de la Région Parisienne nous donne une évaluation des coûts et temps de transport dans l'agglomération parisienne selon deux modes : la voiture particulière et les transports en commun (1). Pour utiliser cette information il nous faut réduire la diversité des modes terminaux à ces deux types ; l'analyse des proximités permet de vérifier si un tel regroupement se justifie et comment l'opérer.

Dans le plan déterminé par les axes 1 et 2 aucun regroupement pour les voyages professionnels n'apparaît à l'évidence. Par rapport à l'axe 1 deux modes de transport s'opposent nettement : la voiture sans chauffeur et la voiture laissée à la gare ; la première est plutôt utilisée par les provinciaux, la seconde a la préférence des parisiens ; l'influence de la localisation est manifeste : on ne loue pas de voiture dans la zone de son domicile. Toujours par rapport à l'axe 1, trois modes sont assez voisins : le train de banlieue, "autre mode ou plusieurs" et la marche à pied, mais ce dernier mode s'oppose franchement aux deux autres par rapport à l'axe 2 et par contre se trouve proche des transports urbains ; tous deux sont isolés de l'ensemble des autres modes sur l'axe 2. On note en particulier que les transports urbains, proches des taxis sur l'axe 1, en sont très écartés sur l'axe 2 ; ces deux derniers modes sont plutôt utilisés par les provinciaux, le premier par les moins aisés, le second par de plus fortunés. C'est certainement cette opposition qui marque le mieux la distinction entre transports individuels et transports en commun quoique pour les parisiens cette distinction ne se voit pas. Ainsi le clivage entre modes collectifs et personnels n'apparaît pas clairement dans le premier plan. Seul l'axe 2 qui exprime l'influence des éléments monétaires du choix (revenu, coût) oppose aux transports urbains des modes qui impliquent l'utilisation d'une voiture. Le plan déterminé par les facteurs 1 et 3 n'apporte guère de précision.

Les facteurs 1 et 2 confirment pour les voyages personnels quelques résultats mis en évidence pour les voyages professionnels. La voiture laissée à la gare s'oppose à la voiture sans chauffeur alors que le taxi est situé entre les deux. Mais ces trois modes qui s'opposent en fonction de la localisation sont très proches en fonction du revenu, ce sont de bons représentants des transports individuels. Par rapport au facteur pouvoir d'achat, ils sont en opposition nette avec les transports urbains, la marche à pied et surtout les trains de banlieue. De nouveau l'accompagnement en voiture et "autre mode ou plusieurs" sont assez proches. La principale différence observée entre les voyages personnels et professionnels porte sur la position du train de banlieue qui tient vraisemblablement à une structure différente des voyages selon le motif ; la banlieue de Paris attire sans doute relativement plus de personnes pour des motifs personnels que professionnels dans la mesure où elle est avant tout une zone de résidence alors que Paris est le coeur administratif et commercial de la France. Le troisième facteur n'apporte guère d'information puisqu'en dehors du groupe "autre mode ou plusieurs" tous les modes sont situés à des niveaux voisins.

---

(1) Cf. R. LANG, thèse, op. cit. , annexe IV K

TABLEAU VII.10

Contribution des axes factoriels à
la dispersion des modes de transport terminaux

1 - Sans distinction du transport à l'origine et à destination

Motif	Contribution des facteurs			Total
	1	2	3	
Tous	25,63	22,66	18,39	66,68
Professionnel	35,17	31,12	14,65	80,94
Personnel	29,33	21,09	17,79	68,21

2 - Avec distinction du transport à l'origine et à destination

Motif	Contribution des facteurs			Total
	1	2	3	
Tous	25,52	16,23	12,59	54,34
Professionnels	44,71	23,01	11,29	79,01
Personnel	29,51	17,47	14,77	61,75

Il apparaît à la lumière de ces graphiques que la distinction entre mode de transport individuel et mode de transport en commun se justifie essentiellement à travers le facteur pouvoir d'achat ; même si elle ne se manifeste pas de façon patente aucun résultat ne la contredit. Un seul problème mineur demeure : ceux qui ont choisi la marche à pied, mode individuel parfait par nature, se comportent plutôt comme des personnes qui emprunteraient un mode de transport collectif. Nous avons cependant choisi de considérer la marche à pied comme un transport individuel, ce qu'elle est par nature, bien que les résultats de l'analyse des correspondances nous incitassent à la ranger parmi les transports en commun. Ce choix arbitraire ne devrait avoir qu'une très faible incidence sur les résultats car c'est un mode quantitativement peu important qui ne concerne qu'une zone géographique limitée autour des gares.

22 - Recherche d'une probabilité de choix

Une fois l'éventail des modes terminaux réduit à une alternative entre deux catégories de modes, nous utilisons l'analyse logit afin d'établir des probabilités de choix du mode terminal dans cette expression binaire.

221 - Les modèles explicatifs et la qualité de l'ajustement

Dans cette série de modèles la variable à expliquer, le mode terminal, est codée de la façon suivante :

0 : transports en commun	train de banlieue transports urbains autres ou plusieurs
1 : transports individuels	taxi voiture laissée à la gare accompagnement en voiture voiture sans chauffeur à pied

A l'issue d'une première série d'analyses nous avons retenu comme variables explicatives le lieu de domicile, le revenu, la taille de la famille, la taille du groupe en voyage, la durée du voyage, sa fréquence et sa distance. Pour le lieu de domicile nous avons voulu affiner la distinction entre parisiens et provinciaux en séparant les banlieusards des parisiens habitant la commune de Paris. Contrairement à notre attente, cette opération s'est avérée inefficace pour expliquer le choix du mode de transport terminal. Pour les autres variables nous avons conservé la codification déjà adoptée (nombre de personnes de la famille, accompagnement, distance) ou bien nous avons cherché à les dichotomiser en fonction des modalités adoptées lors de l'enquête. Notons enfin qu'une variable distinguant l'origine de la destination ne s'est pas avérée explicative du choix du mode de transport terminal.

En fonction des résultats obtenus deux modèles différents selon le motif ont été utilisés pour calculer les probabilités de choix du mode terminal ; ils présentent la particularité de ne contenir que des variables significatives. Dans les deux cas l'ajustement est satisfaisant ; on observe toutefois que le pseudo-R^2 est assez faible surtout en ce qui concerne les voyages professionnels.

222 - Interprétation des résultats

L'accroissement du pouvoir d'achat est favorable au choix d'un mode individuel comme l'indique le coefficient de la variable revenu. La tendance à choisir plus volontiers un mode individuel est atténuée par l'effet de la taille de la famille dont l'accroissement porte à choisir plutôt les modes collectifs. Notons que l'influence de la taille de la famille est beaucoup moins sensible pour les voyages professionnels. De même que le trajet principal, le trajet terminal est plus rarement supporté financièrement par le voyageur lui-même pour les voyages professionnels que pour les voyages personnels.

TABLEAU VII.11

Choix du mode de transport terminal

Modèle T1 (Motif professionnel)

$G(X) = a_0 + a_2$ Log REVEF $+ a_3$ NPERSF $+ a_4$ REDUC $+ a_7$ FREQ $+ a_8$ NPERSV

	Estimation du coefficient	Test de Student
a_0	- 8,0233	- 7,5278
a_2	0,7932	7,6466
a_3	- 0,0922	- 2,5500
a_4	- 0,4256	- 1,9766
a_7	- 0,0076	- 3,0116
a_8	0,1617	1,9653
Test du raito de vraisemblance		86,5693
Nombre de degrés de liberté		5
Seuil de signification		0,001
Pseudo-R^2		0,076

Modèle T2 (Motif personnel)

$G(X) = a_0 + a_2$ Log REVEF $+ a_3$ NPERSF $+ a_4$ REDUC $+ a_8$ NPERSV $+ a_{10}$ DISTAN

	Estimation du coefficient	Test de Student
a_0	- 9,2439	- 6,1306
a_2	0,8454	5,7899
a_3	- 0,2293	- 4,0443
a_4	- 0,6925	- 2,6597
a_8	0,2502	3,0345
a_{10}	0,0025	3,2861
Test du ratio de vraisemblance		77,7017
Nombre de degrés de liberté		5
Seuil de signification		0,001
Pseudo-R^2		0,161

De façon surprenante le taux de réduction passive accordée par la SNCF ne se montre pas sans influence sur le choix du mode terminal ; en effet on ne voit guère de relation de causalité, si ce n'est que les bénéficiaires d'une réduction SNCF peuvent obtenir des réductions similaires sur les réseaux urbains de transport collectif. Le coût relatif du transport collectif par rapport à l'individuel diminue, accroissant son attrait, mais cet effet n'est significatif à un seuil satisfaisant que pour les voyages personnels.

La taille du groupe en voyage est affectée pour les deux motifs d'un coefficient positif significatif. Ce résultat indique que le choix se porte d'autant plus facilement sur des modes individuels que le voyage est accompagné, le coût relatif en effet en est d'autant plus faible que l'on peut supposer que le groupe voyageant ensemble emprunte le même mode de transport terminal. A ces considérations monétaires, il faut ajouter la commodité du transport individuel qui permet de mieux préserver l'unité du groupe en voyage.

Alors que pour les voyages personnels l'accroissement de la distance est favorable au choix d'un mode terminal individuel, celle-ci est sans influence pour les voyages professionnels. Par contre l'accroissement de la fréquence de ces derniers conduit à choisir plus facilement un mode de transport terminal collectif, cette variable s'avèrant sans effet pour les voyages personnels.

Dans le choix du mode terminal le revenu signale son fort pouvoir explicatif ; à travers lui s'exprime l'arbitrage entre des modes collectifs moins onéreux mais plus lents et des modes individuels chers et plus rapides. Mais il s'insère parmi un ensemble de variables explicatives dont le rôle varie d'après le motif. Pour tenir compte de cette diversité, les probabilités de choix ont été calculées à partir de chacun des modèles établis selon le motif. On suppose de nouveau que les voyageurs routiers auraient un comportement analogue à celui des voyageurs ferroviaires motorisés. Leurs caractéristiques permettent de calculer pour chacun d'eux la probabilité p_1 de choix du mode de transport terminal individuel ; la probabilité de choix du mode de transport collectif est alors $p_2 = 1 - p_1$. On appelle respectivement T_1 et C_1 le temps et le coût automobile, T_2 et C_2 le temps et le coût du mode de transport collectif calculés par le Service Régional du Ministère de l'Equipement de la Région Parisienne ; le temps et le coût du mode terminal fictif du voyageur routier sont respectivement :

$$T = p_1 T_1 + p_2 T_2$$

$$C = p_1 C_1 + p_2 C_2$$

ce sont des moyennes pondérées par les probabilités.

II - L'INFLUENCE DU TEMPS DE TRANSPORT

1 - LA DIFFICULTE DE L'APPROCHE

L'analyse de l'influence du temps de transport sur le choix entre le rail et la route se heurte à deux difficultés majeures ; la première réside dans la définition même du temps de transport, la seconde provient de l'existence de fortes corrélations entre le temps de transport et la distance mais aussi entre le temps ferroviaire et le temps routier.

Chaque individu de notre enquête est affecté de deux types de variables "temps" :

- une variable réelle ou du moins destinée à représenter la réalité,
- une variable fictive destinée à représenter l'alternative rejetée.

Pour les voyageurs routiers la variable réelle est le temps passé en automobile qui se décompose en un temps hors agglomération parisienne (THA) et un temps dans l'agglomération parisienne (TRORP). Les variables fictives sont : le temps ferroviaire (TFE), temps pondéré par les probabilités de choix des deux classes ferroviaires et le temps terminal pondéré également par les probabilités de choix du mode terminal (TT) (1). Pour les voyageurs ferroviaires il s'agit évidemment de l'inverse. La difficulté consiste donc à choisir les temps qui représentent le mieux les alternatives ferroviaires et routières. Si pour la route il est naturel de considérer le temps de façon globale puisque le voyage s'effectue généralement de porte à porte, le problème est plus délicat pour le transport ferroviaire où l'on distingue le temps principal et le temps terminal ; il convient d'analyser l'influence de chacun de ces temps et en particulier de voir s'ils exercent la même influence sur le choix. Enfin, plus que le temps lui-même, c'est peut-être la différence de temps qui exerce le rôle discriminant le plus fort mais là encore, il est important de savoir quel temps ferroviaire est comparé au temps routier. De la même manière, la différence de temps terminal peut jouer un rôle efficace dans la prise de décision.

Jusqu'alors nous n'avons pas rencontré de variables très fortement corrélées, nous avions seulement noté que la taille de la famille avait une influence qui dépendait de la notion de revenu que l'on intégrait. Avec l'introduction des variables de temps, on va se heurter à des variables naturellement corrélées entre elles. Ainsi le temps et le coût de transport dépendent de la distance parcourue ; il arrive que la spécificité d'une offre soit telle qu'il puisse exister une liaison plus longue et plus rapide (existence d'autoroute ou d'une ligne de chemin de fer à grande vitesse) mais ces exceptions ne peuvent qu'atténuer la relation entre la distance et le temps nécessaire pour la parcourir sans la faire disparaître. Ainsi paraît-il souhaitable de ne jamais introduire simultanément la distance et le temps de transport principal.

---

(1) Cf. section précédente.

TABLEAU VII.12

MODELE 100 (Analyse Logit)

$$G(X) = a_0 + a_1 LDOM + a_2 \text{ Log REVEF} + a_4 REDUC + a_8 NPAC + a_{10} DISTA$$

Coefficient	MOTIF PROFESSIONNEL		MOTIF PERSONNEL	
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student
a_0	- 15,557	- 20,554	- 15,003	15,625
a_1	0,692	7,901	0,633	5,154
a_2	1,252	18,014	1,216	13,342
a_4	0,763	4,345	2,404	11,483
a_8	- 1,581	- 15,857	2,154	17,094
a_{10}	$0,61 \times 10^{-2}$	16,369	$0,58 \times 10^{-2}$	10,816
Test du ratio de vraisemblance		1042,28		863,09
Nombre de degrés de liberté		5		5
Pseudo - R^2		0,390		0,498

MODELE 102 (Analyse Logit)

$$G(X) = a_0 + a_1 LDOM + a_2 \text{ Log REVEF} + a_4 REDUC + a_8 NPAC + a_{12} TTRO$$

Coefficient	MOTIF PROFESSIONNEL		MOTIF PERSONNEL	
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student
a_0	- 15,389	- 20,393	- 14,811	- 15,476
a_1	0,665	7,611	0,589	4,805
a_2	1,263	18,155	1,222	13,434
a_4	0,760	4,328	2,410	11,535
a_8	- 1,582	- 15,954	- 2,148	- 17,066
a_{12}	$0,62 \times 10^{-2}$	15,949	$- 0,59 \times 10^{-2}$	10,448
Test du ratio de vraisemblance		1028,19		855,319
Nombre de degrés de liberté		5		5
Pseudo - R^2		0,386		0,495

TABLEAU VII.13
MODELE 103 (Analyse Logit)

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ LDOM} + a_2 \text{ Log REVEF} + a_4 \text{ REDUC} + a_8 \text{ NPAC} + a_{13} \text{ TFE}$$

Coefficient	MOTIF PROFESSIONNEL		MOTIF PERSONNEL	
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student
a_0	- 16,252	- 21,310	- 16,275	- 16,336
a_1	0,669	7,612	0,649	5,259
a_2	1,312	18,816	1,319	14,170
a_4	0,722	4,111	2,331	11,002
a_8	- 1,592	- 15,974	- 2,201	- 17,291
a_{13}	0,011	16,939	0,011	11,964
Test du ratio de vraisemblance		1073,48		893,266
Nombre de degrés de liberté		5		5
Pseudo - R^2		0,400		0,512

MODELE 105 (Analyse Logit)

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ LDOM} + a_2 \text{ Log REVEF} + a_4 \text{ REDUC} + a_8 \text{ NPAC} + a_{10} \text{ DISTA} + a_{14} \text{ TTRP}$$

Coefficient	MOTIF PROFESSIONNEL		MOTIF PERSONNEL	
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student
a_0	- 14,896	- 19,850	- 13,694	- 13,848
a_1	0,616	6,830	0,488	3,860
a_2	1,228	17,518	1,161	12,665
a_4	0,766	4,350	2,460	11,601
a_8	- 1,600	- 16,034	- 2,170	- 17,119
a_{10}	$0,60 \times 10^{-2}$	16,177	$0,58 \times 10^{-2}$	10,789
a_{14}	- 0,010	- 3,828	- 0,020	- 4,968
Test du ratio de vraisemblance		1058,58		886,076
Nombre de degrés de liberté		6		6
Pseudo - R^2		0,395		0,509

TABLEAU VII.14

MODELE 106 (Analyse Logit)

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ LDOM } a_2 \text{ Log REVEF} + a_4 \text{ REDUC} + a_8 \text{ NPAC} + a_{13} \text{ TFE} + a_{14} \text{ TTRP}$$

Coefficient	MOTIF PROFESSIONNEL		MOTIF PERSONNEL	
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student
a_0	- 15,618	- 19,891	- 15,013	- 14,710
a_1	0,598	6,625	0,512	4,031
a_2	1,288	18,287	1,266	13,650
a_4	0,726	4,125	2,384	11,112
a_8	- 1,610	- 16,100	- 2,211	- 17,313
a_{13}	0,011	16,726	0,011	11,808
a_{14}	$- 0,94 \times 10^{-2}$	- 3,571	- 0,019	- 4,592
Test du ratio de vraisemblance		1087,92		912,479
Nombre de degrés de liberté		6		6
Pseudo - R^2		0,404		0,521

MODELE 107 (Analyse Logit)

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ LDOM} + a_2 \text{ Log REVEF} + a_4 \text{ REDUC} + a_8 \text{ NPAC} + a_{10} \text{ DISTA} + a_{15} \text{ DTT}$$

Coefficient	MOTIF PROFESSIONNEL		MOTIF PERSONNEL	
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student
a_0	- 16,496	- 20,951	- 16,562	- 16,172
a_1	0.769	8,602	0,782	6,140
a_2	1,287	18,279	1,297	13,872
a_4	0,738	4,194	2,302	10.893
a_8	- 1,570	- 15,727	- 2,195	- 17,237
a_{10}	$0,84 \times 10^{-2}$	14,383	$0,85 \times 10^{-2}$	10,904
a_{15}	$- 0,59 \times 10^{-2}$	- 5,242	$- 0,75 \times 10^{-2}$	- 4,907
Test du ratio de vraisemblance		1072,42		885,706
Nombre de degrés de liberté		6		6
Pseudo - R^2		0.400		0,509
Coefficient de corrélation DISTA - DTT		0,715		0,671

TABLEAU VII.15

MODELE 108 (Analyse Logit)

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ LDOM} + a_2 \text{ Log REVEF} + a_4 \text{ REDUC} + a_8 \text{ NPAC} + a_{15} \text{ DTT}$$

Coefficient	MOTIF PROFESSIONNEL		MOTIF PERSONNEL	
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student
a_0	- 13,461	- 18,920	- 13,164	- 14,656
a_1	0,641	7.535	0,619	4,921
a_2	1,225	18,275	1, 211	13,912
a_4	0,691	4,039	2,369	11,531
a_8	- 1,528	- 15,863	- 2,096	- 17,420
a_{15}	$0,57 \times 10^{-2}$	8,17	$0,40 \times 10^{-2}$	4,125
Test du ratio de vraisemblance		824,451		766,234
Nombre de degrés de liberté		5		5
Pseudo - R^2		0,319		0,452

TABLEAU VII.16
INFLUENCE des TEMPS de TRANSPORT

TEST de COMPARAISON des COEFFICIENTS

de l'ANALYSE LOGIT selon le MOTIF

Variable	Coefficient		Différence	Ecart-type de la différence	Test de Student	Seuil de signification
	Motif professionnel	Motif personnel				
LDOM	0, 692	0, 633	0, 060	0, 227	0, 26	0, 795
REVEF	1, 252	1, 216	0, 037	0, 115	0, 32	0, 749
REDUC	0, 763	2, 404	1, 641	0, 273	6, 01	0, 001
NPAC	- 1, 581	- 2, 154	0, 577	0, 191	3, 03	0, 001
DISTA	$0,61 \times 10^{-2}$	$0,58 \times 10^{-3}$	$0,27 \times 10^{-3}$	$0,55 \times 10^{-3}$	0, 49	0, 624
TTRO	$0,62 \times 10^{-2}$	$0,59 \times 10^{-2}$	$0,29 \times 10^{-3}$	$0,63 \times 10^{-3}$	0, 46	0, 645
TFE	0, 011	0, 011	$0,30 \times 10^{-3}$	$0,11 \times 10^{-2}$	0, 27	0, 787
TTRP	0, 010	0, 020	0, 010	$0,48 \times 10^{-2}$	2, 08	0, 037
DTT	$-0,57 \times 10^{-2}$	$-0,40 \times 10^{-2}$	$0,17 \times 10^{-2}$	$0,11 \times 10^{-2}$	1, 53	0, 250

Nous sommes parti d'un modèle simple comprenant les variables qui sont apparues les plus explicatives.

MODELE 100 (tableau VII.12)

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ LDOM} + a_2 \text{ Log REVEF} + a_4 \text{ REDUC} + a_8 \text{ NPAC} + a_{10} \text{ DISTA}$$

Ce modèle a été transformé par la suppression de la variable distance et l'introduction de diverses variables "temps" :

THA : temps routier hors agglomération parisienne (en minutes)
TTRO : temps total routier (en minutes)
TFE : temps ferroviaire (en minutes)

MODELE 102 (tableau VII.12)

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ LDOM} + a_2 \text{ Log REVEF} + a_4 \text{ REDUC} + a_8 \text{ NPAC} + a_{12} \text{ TTRO}$$

MODELE 103 (tableau VII.13)

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ LDOM} + a_2 \text{ Log REVEF} + a_4 \text{ REDUC} + a_8 \text{ NPAC} + a_{13} \text{ TFE}$$

Ensuite nous avons intégré les temps terminaux :

TTRP : temps terminal de la région parisienne

MODELE 105 (tableau VII.13)

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ LDOM} + a_2 \text{ Log REVEF} + a_4 \text{ REDUC} + a_8 \text{ NPAC} + a_{10} \text{ DISTA} + a_{14} \text{ TTRP}$$

MODELE 106 (tableau VII.14)

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ LDOM} + a_2 \text{ Log REVEF} + a_4 \text{ REDUC} + a_8 \text{ NPAC} + a_{13} \text{ TFE} + a_{14} \text{ TTRP}$$

Enfin nous avons établi des modèles dans lesquels la distance a été intégrée simultanément avec la différence de temps total :

DTT : différence de temps total

$$= \underbrace{(\text{THA} + \text{TRORP})}_{\text{Temps total routier}} - \underbrace{(\text{TFE} + \text{TTRP} + \text{TTPR})}_{\text{Temps total ferroviaire}}$$

où TTPR est le temps terminal en province, calculé en fonction de la taille de l'agglomération (cf. annexe IV G).

MODELE 107 (tableau VII.14)

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ LDOM} + a_2 \text{ Log REVEF} + a_4 \text{ REDUC} + a_8 \text{ NPAC} + a_{10} \text{ DISTA} + a_{15} \text{ DTT}$$

Une forte corrélation entre la différence de temps et la distance nous a contraint à utiliser un huitième modèle en supprimant la distance.

MODELE 108 (tableau VII.15)

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ LDOM} + a_2 \text{ Log REVEF} + a_4 \text{ REDUC} + a_8 \text{ NPAC} + a_{15} \text{ DTT}$$

Pour tous ces modèles le test du ratio de vraisemblance permet de rejeter l'hypothèse d'indépendance du choix du mode de transport des variables introduites.

2 - ANALYSE DES RESULTATS

Tous les résultats concernant le temps de transport sont rassemblés dans les tableaux VII.12 à VII.15. Il en ressort que l'accroissement du temps de transport principal, qu'il soit ferroviaire ou routier, accroît la probabilité de choix du train. Cependant les coefficients du temps routier sont pour les deux motifs plus faibles que les coefficients ferroviaires ; mais plus qu'une différence de sensibilité entre les deux, ce résultat exprime surtout que dans une même unité de temps on parcourt par le train une distance plus longue que par la voiture.

On observe que la sensibilité au temps de transport n'est pas différente selon le motif, quel que soit le mode. Mais ces modèles sont inadéquats pour mesurer l'incidence d'une amélioration du temps de transport de l'un des deux modes puisque les résultats dépendent en premier lieu de l'effet distance : on ne compare pas deux vitesses sur des distances données, mais deux temps qui traduisent d'abord l'importance du déplacement.

Jusqu'alors toutes les tentatives pour mesurer le handicap du transport terminal ont échoué. L'enquête du SRERP permet de poser l'analyse en termes de temps mais limitée à la région parisienne puisqu'en province, il s'agit de temps non individualisés, calculés en fonction de la taille de l'agglomération. Des modèles 105 et 106 il se dégage que l'accroissement du temps terminal fait décroître la probabilité de choix du train. Ce résultat remarquable souligne que le handicap du transport terminal du voyage ferroviaire est perçu en temps et non pas en distance ; cette sensibilité est plus forte pour les voyages personnels que pour les voyages professionnels.

Pour intégrer simultanément la distance et le temps, tout en dissociant leurs effets, on fait intervenir la différence entre temps routier et ferroviaire avec la distance (modèle 107). L'interprétation

du résultat conduit à une conclusion surprenante : la détérioration relative de la performance en termes de temps de l'un ou l'autre mode aurait tendance à améliorer sa situation.

Ce résultat choquant trouve une explication dans la forte corrélation entre la distance et la différence de temps : 0,715 pour le motif professionnel, 0,671 pour le motif personnel. Dès lors, quoique les coefficients du modèle paraissent significatifs, on ne peut arrêter aucune conclusion. Le modèle 107 traduit l'impossibilité de dégager simultanément les effets de la distance et de la différence de temps, c'est pourquoi le modèle 108 ne comporte pas la variable distance. Ce nouveau modèle attribue à la différence de temps un coefficient positif en accord avec la logique du comportement du voyageur : la probabilité de prendre le train s'élève lorsque la différence croît. Pour les voyages professionnels la probabilité de prendre le train passe de 0,34 lorsque la différence est favorable de cinquante minutes à la voiture, à 0,68 lorsqu'elle l'est de trois heures au train. Pour les voyages personnels cette probabilité passe de 0,17 à 0,36. Le passage d'une situation très favorable à la voiture à une situation inverse double la probabilité de choix du train pour les deux motifs.

La comparaison entre les modèles 100 et 108 accuse une nette diminution du pseudo-R^2 due à la disparition de la variable "distance" et que ne compense pas l'introduction de la différence de temps. On peut conclure que dans le choix l'effet-distance prime l'effet gain de temps : la longueur du voyage est pour l'automobile un handicap plus lourd que le gain de temps. Cependant la structure de ces modèles ne permet pas d'isoler l'effet propre à chacune de ces variables car la différence de temps évolue avec la distance comme l'indique leur forte corrélation. Une seconde limite structurelle de ce modèle est de ne pas tenir compte du caractère relatif d'un gain de temps : gagner une heure sur un parcours de deux cents kilomètres n'a sans doute pas la même conséquence que sur six cents kilomètres. Pour surmonter cet écueil il faudrait appliquer le modèle 108 sur des groupes de relations équivalentes par la distance.

III - L'INFLUENCE DES COÛTS DE TRANSPORT

1 - LA DIFFICULTE DE L'APPROCHE

L'analyse de l'influence du coût de transport se heurte non seulement aux mêmes difficultés que l'analyse de l'influence du temps (définition des coûts fictifs, problème de la multicolinéarité) mais aussi à une difficulté particulière concernant les coûts réels. Si pour le voyageur ferroviaire le coût est parfaitement défini, il n'en est pas de même du coût routier. Comme pour le temps, à chaque voyage sont affectés deux coûts :

- un coût réel correspondant au mode effectivement choisi,
- un coût fictif, celui du mode écarté.

Le coût ferroviaire réel comprend le prix du billet versé et le coût du transport terminal, moyenne des coûts du transport individuel et collectif pondérée par leurs probabilités de choix. Le coût routier réel doit correspondre au coût perçu par l'usager ; il n'est pas définissable à partir de l'enquête mais doit se situer entre le coût marginal et le coût global. C'est pourquoi on a introduit ces deux coûts ainsi que le coût intermédiaire appelé coût du kilomètre roulant (1) ; s'ajoute éventuellement celui de l'utilisation de l'autoroute. Ces différents coûts sont divisés par le nombre de personnes en voyage.

Le coût fictif des voyageurs de la route est une moyenne des coûts de la première et de la seconde classe, pondérée par les probabilités de choix des voyageurs ferroviaires motorisés. Auparavant, le coût de chaque classe a été diminué du taux de réduction passive mais lorsque la fréquence du voyage ouvrait droit à une réduction supérieure, celle-ci a été appliquée. Les coûts fictifs routiers sont représentés par les trois coûts définis précédemment, déterminés à partir d'une voiture de référence choisie en fonction du revenu.

Pour apprécier sous l'angle du coût le handicap que constitue la relation de la gare au point précis de l'origine ou de la destination du voyage, l'isolement du coût de transport terminal s'avère nécessaire.

De par leur calcul, les coûts sont directement liés à la distance, donc liés entre eux. Seules l'existence du coût autoroute et surtout la présence de plusieurs personnes dans une même voiture évitent que la liaison soit parfaitement linéaire ; il en est de même des coûts ferroviaires où la taxe de prise en charge mais surtout la réduction, atténuent la liaison linéaire. Quoi qu'il en soit, il est clair qu'on ne peut pas introduire simultanément la distance avec les différents coûts, ni même le coût ferroviaire et l'un des coûts routiers.

A partir du modèle 100 dans lequel la distance a été remplacée par diverses variables de coût exprimé en francs :

CRCA : coût routier calculé à partir des seules dépenses de carburant imputables au voyage

---

(1) Cf. R. LANG, thèse, op. cit., annexe IV H.

CRKM : coût routier calculé à partir des dépenses afférentes au kilomètre roulant

CRTO : coût routier calculé en tenant compte des dépenses d'amortissement

CFE : coût ferroviaire

CTT : coût terminal

sont bâtis les modèles suivants :

MODELE 201 (tableau VII.17)

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ LDOM} + a_2 \text{ Log REVEF} + a_4 \text{ REDUC} + a_8 \text{ NPAC} + a_{21} \text{ CRCA}$$

MODELE 202 (tableau VII.17)

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ LDOM} + a_2 \text{ Log REVEF} + a_4 \text{ REDUC} + a_8 \text{ NPAC} + a_{22} \text{ CRKM}$$

MODELE 203 (tableau VII.18)

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ LDOM} + a_2 \text{ Log REVEF} + a_4 \text{ REDUC} + a_8 \text{ NPAC} + a_{23} \text{ CRTO}$$

MODELE 204 (tableau VII.18)

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ LDOM} + a_2 \text{ Log REVEF} + a_4 \text{ REDUC} + a_8 \text{ NPAC} + a_{24} \text{ CFE}$$

MODELE 205 (tableau VII.19)

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ LDOM} + a_2 \text{ Log REVEF} + a_4 \text{ REDUC} + a_8 \text{ NPAC} + a_{10} \text{ DISTA} + a_{25} \text{ CTT}$$

Enfin des modèles intégrent simultanément les différences de coûts et de distance :

$$\text{DICA} = \text{CRCA} - \text{CFE}$$
$$\text{DIKM} = \text{CRKM} - \text{CFE}$$
$$\text{DITO} = \text{CRTO} - \text{CFE}$$

MODELE 206 (tableau VII.19)

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ LDOM} + a_2 \text{ Log REVEF} + a_4 \text{ REDUC} + a_8 \text{ NPAC} + a_{10} \text{ DISTA} + a_{26} \text{ DICA}$$

MODELE 207 (tableau VII.20)

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ LDOM} + a_2 \text{ Log REVEF} + a_4 \text{ REDUC} + a_8 \text{ NPAC} + a_{10} \text{ DISTA} + a_{27} \text{ DIKM}$$

MODELE 208 (tableau VII.20)

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ LDOM} + a_2 \text{ Log REVEF} + a_4 \text{ REDUC} + a_8 \text{ NPAC} + a_{10} \text{ DISTA} + a_{28} \text{ DITO}$$

2 - ANALYSE DES RESULTATS

Comme on pouvait s'y attendre, l'élévation des coûts imputable essentiellement à la distance est très favorable au choix du train. L'information sous cette forme est assez restreinte, elle retranscrit principalement l'effet de la distance. On observe que les inverses des rapports des coefficients des différents coûts routiers entre eux sont très voisins du rapport des coûts. Cela signifie qu'appliqués à une même distance les coûts fournissent des probabilités de choix très proches. Aucun d'eux ne se signale par un pouvoir explicatif supérieur. Notons seulement que les pseudo-R^2 sont un peu plus élevés lorsqu'on emploie le coût du kilomètre roulant.

Les coefficients du coût kilomètre roulant et du coût global sont significativement différents selon le motif alors que celui du coût carburant ne l'est pas, du moins à un seuil suffisant. La prise en compte d'un coût unitaire élevé semble remettre en question le choix d'un mode plus facilement pour un voyage personnel que pour un voyage professionnel puisque les deux coefficients des coûts les plus élevés sont significativement supérieurs pour le motif personnel. Cette conclusion est contestée par le modèle 204 intégrant le coût ferroviaire qui donne le choix plus sensible pour le motif professionnel. Ces résultats contradictoires ne trouvent guère d'explication d'autant plus qu'on observe une distorsion surprenante selon le motif lorsque l'on compare les sensibilités au coût ferroviaire et au coût routier. Pour le motif professionnel le coût du kilomètre roulant est le plus proche du coût ferroviaire, tandis que c'est le coût global pour le motif personnel. Si le premier résultat semble plausible, le second paraît intuitivement excessif. Aucune conclusion définitive ne s'impose ni sur le sens de l'influence du motif dans la perception du coût, ni sur la notion de coût routier perçue par les automobilistes.

L'accompagnement du voyage n'a pas le même pouvoir explicatif lorsqu'on prend en compte les coûts routiers ; pour les voyages personnels le coefficient, tout en restant significatif, baisse singulièrement, tandis qu'il perd toute signification pour les voyages professionnels. Ce phénomène est imputable à la division du coût du voyage par le nombre de personnes voyageant ensemble. Dans cette série de modèle (201, 202 et 203) les considérations financières n'interviennent plus dans la variable "accompagnement". Le fait que le coefficient demeure significatif pour les voyages personnels souligne que l'intérêt du voyage automobile en groupe ne se confine pas à la réduction du coût unitaire et que l'assurance de conserver l'intégrité du groupe est plus ou moins prise en compte.

TABLEAU VII.17

MODELE 201

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ LDOM} + a_2 \text{ Log REVEF} + a_4 \text{ REDUC} + a_8 \text{ NPAC} + a_{21} \text{ CRCA}$$

Coefficient	MOTIF PROFESSIONNEL		MOTIF PERSONNEL	
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student
a_0	- 14,519	- 19,487	- 15,031	- 15,528
a_1	0,685	7,841	0,712	5,714
a_2	1,107	15,965	1,124	12,254
a_4	0,732	4,204	2,307	11,116
a_8	- 0,129	- 1,023	- 0,490	- 2,715
a_{21}	0,064	15,488	0,075	11,407
Test du ratio de vraisemblance		1021,33		887,79
Nombre de degrés de liberté		5		5
Pseudo - R^2		0,384		0,509

MODELE 202

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ LDOM} + a_2 \text{ Log REVEF} + a_4 \text{ REDUC} + a_8 \text{ NPAC} + a_{22} \text{ CRKM}$$

Coefficient	MOTIF PROFESSIONNEL		MOTIF PERSONNEL	
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student
a_0	- 14,693	- 19,660	- 15,187	- 15,594
a_1	0,681	7,759	0,696	5,579
a_2	1,123	16,195	1,140	12,424
a_4	0,743	4,246	2,318	11,145
a_8	- 0,126	- 1,023	- 0,480	2, 679
a_{22}	0,039	16,163	0,045	11,593
Test du ratio de vraisemblance		1046,27		891,750
Nombre de degrés de liberté		5		5
Pseudo - R^2		0,392		0,511

TABLEAU VII.18
MODELE 203

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ LDOM} + a_2 \text{ Log REVEF} + a_4 \text{ REDUC} + a_8 \text{ NPAC} + a_{23} \text{ CRTO}$$

Coefficient	MOTIF PROFESSIONNEL		MOTIF PERSONNEL	
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student
a_0	- 14,310	- 19,235	- 14,806	- 15,365
a_1	0,684	7,811	0,681	5.479
a_2	1,111	15,982	1,129	12,347
a_4	0,742	4,261	2,319	11,200
a_8	- 0,277	- 2,309	- 0,626	- 3,582
a_{23}	0,014	- 15,681	0,016	11,056
Test du ratio de vraisemblance		1023,44		877,444
Nombre de degrés de liberté		5		5
Pseudo - R^2		0,384		0,505

MODELE 204

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ LDOM} + a_2 \text{ Log REVEF} + a_4 \text{ REDUC} + a_8 \text{ NPAC} + a_{24} \text{ CFE}$$

Coefficient	MOTIF PROFESSIONNEL		MOTIF PERSONNEL	
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student
a_0	- 13,207	- 17,927	- 12,794	- 13,765
a_1	0,795	9,046	0,664	5,499
a_2	1,053	15,122	1,101	11,949
a_4	1,656	9,206	2,840	12,884
a_8	- 1,657	- 16,408	- 2,159	- 17,366
a_{24}	0,034	15,871	0,020	6,227
Test du ratio de vraisemblance		1038,54		784,329
Nombre de degrés de liberté		5		5
Pseudo - R^2		0 389		0,461

TABLEAU VII.19
MODELE 205

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ LDOM} + a_2 \text{ Log REVEF} + a_4 \text{ REDUC} + a_8 \text{ NPAC} + a_{10} \text{ DISTA} + a_{25} \text{ CTT}$$

Coefficient	MOTIF PROFESSIONNEL		MOTIF PERSONNEL	
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student
a_0	- 14.959	- 19,000	- 15,916	- 14,493
a_1	0.638	7,080	0,684	5,410
a_2	0.839	4,711	1,325	11,950
a_4	- 1,625	- 16,059	2,286	10,421
a_8	- 1,625	- 16,059	- 2,126	- 16,688
a_{10}	0,006	16,051	$0,61 \times 10^{-2}$	10,800
a_{25}	0,114	2,620	- 0,103	- 1,754
Test du ratio de vraisemblance		1048, 69		865,946
Nombre de degrés de liberté		6		6
Pseudo - R^2		0,392		0,499

MODELE 206

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ LDOM} + a_2 \text{ Log REVEF} + a_4 \text{ REDUC} + a_8 \text{ NPAC} + a_{10} \text{ DISTA} + a_{26} \text{ DICA}$$

Coefficient	MOTIF PROFESSIONNEL		MOTIF PERSONNEL	
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student
a_0	- 14,942	- 19,502	- 16,263	- 15.838
a_1	0,733	8,292	0,661	5,332
a_2	1,195	16,959	1,325	13,723
a_4	1,137	6,060	1,951	8,130
a_8	- 1,932	- 15,833	- 1,761	- 11,201
a_{10}	$0,54 \times 10^{-2}$	13,918	$0,67 \times 10^{-2}$	11,359
a_{26}	- 0,013	- 5,222	0,016	4,025
Test du ratio de vraisemblance		1069,01		878,848
Nombre de degrés de liberté		6		6
Pseudo - R^2		0,399		0,506

TABLEAU VII.20

MODELE 207

$G(X) = a_0 + a_1$ LDOM + a_2 Log REVEF + a_4 REDUC + a_8 NPAC + a_{10} DISTA + a_{27} DIKM

Coefficient	MOTIF PROFESSIONNEL		MOTIF PERSONNEL	
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student
a_0	- 15,139	- 19,873	- 16,405	16,004
a_1	0,726	8,233	0,669	5,379
a_2	1,217	17,397	1,325	13,849
a_4	1,064	5,697	1,909	8,063
a_8	- 2,018	- 14,209	- 1,473	- 7,825
a_{10}	$0,62 \times 10^{-2}$	16,644	$0,59 \times 10^{-2}$	10,816
a_{27}	0,011	- 4,423	0,017	4,684
Test du ratio de vraisemblance		1061,22		884,687
Nombre de degrés de liberté		6		6
Pseudo - R^2		0,396		0,508

MODELE 208

$G(X) = a_0 + a_1$ LDOM + a_2 Log REVEF + a_4 REDUC + a_8 NPAC + a_{10} DISTA a_{28} DITO

Coefficient	MOTIF PROFESSIONNEL		MOTIF PERSONNEL	
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student
a_0	- 15,687	- 20,532	- 15,780	15,916
a_1	0,713	8,112	0,669	5,371
a_2	1,274	18,095	1,243	13,449
a_4	0,917	5,056	2,066	9,322
a_8	- 2,116	- 10,734	- 1,110	- 4,453
a_{10}	$0,75 \times 10^{-2}$	12,714	$0,37 \times 10^{-2}$	5,273
a_{28}	$- 0,54 \times 10^{-2}$	- 3,171	0,011	4,690
Test du ratio de vraisemblance		1051,81		885,033
Nombre de degrés de liberté		6		6
Pseudo - R^2		0,393		0,508

Le coût du transport terminal dans la région parisienne fournit également des résultats quelque peu surprenants. Pour le motif personnel il semble que le handicap d'un transport terminal ne soit pas perçu sous forme monétaire, (cf. tableau VII.19). Curieusement, pour le motif professionnel l'élévation du coût terminal accompagne l'accroissement de faveur du train. En fait, on ne peut établir de relation de causalité ; il se trouve que les voyageurs qui acceptent des coûts élevés pour le transport terminal (taxi, location de voiture, ...) sont en même temps ceux qui choisissent le plus aisément le train. Finalement quel que soit le motif, les difficultés d'accès à la gare analysées en terme de coût n'ont aucune influence directe sur le choix.

Les modèles 206, 207 et 208 montrent que la différence de coût est significativement explicative du choix ; mais on constate une importante divergence puisque pour les motifs professionnels l'élévation de la différence de coût est favorable à la voiture, et inversement pour les motifs personnels. Pour ces derniers le résultat est conforme à l'analyse économique du choix ; la hausse relative du coût du transport automobile incline à choisir le train. Par contre, le résultat obtenu sur les voyages professionnels s'oppose à première vue à cette interprétation. On soupçonne dans ce résultat une corrélation avec d'autres variables. L'observation de la matrice des corrélations révèle que la différence de coût est assez corrélée avec le taux de réduction passive, la distance et surtout avec l'accompagnement. Cet ensemble de corrélation risque de masquer la véritable signification de la différence de coût malgré un coefficient largement significatif. On a du mal à percevoir un lien de causalité entre une élévation relative du coût de la voiture, et l'élévation de sa probabilité de choix. Derrière ce résultat se cache vraisemblablement une relative insensibilité des voyages professionnels à la différence de coût. Quelle que soit la notion de coût routier intégrée, les résultats sont voisins ; seule la corrélation avec la distance varie : négative avec le coût carburant, proche de zéro avec le coût kilomètre roulant, elle est fortement positive avec le coût global. Ceci s'explique si l'on tient compte du fait que la différence du coût est d'autant plus sensible à la distance que le coût routier unitaire est important.

Au phénomène paradoxal de l'accroissement de faveur de l'automobile en même temps que de son coût, on peut avancer une explication : les personnes qui voyagent pour motif professionnel et qui ont délibérément choisi la route, disposeraient d'une voiture plus puissante grevant le voyage routier. Cette hypothèse, quoique plausible, paraît critiquable car la différence de coût n'est pas corrélée avec le revenu et l'on sait que la puissance de l'automobile lui est liée (1). Toutefois, pour les voyages professionnels rien n'indique que cette relation se conserve, l'automobile pouvant appartenir à l'entreprise et non au conducteur. D'autre part, la puissance de la voiture peut être indépendante du revenu dans la mesure où comme outil de travail elle doit transporter du matériel ou des marchandises. Remarquons pour corroborer ce propos que les catégories socio-professionnelles qui ont une proportion de voyages personnels plus élevée par la route que par le fer sont les cadres moyens et encore plus les patrons (industriels, artisans et commerçants) et les ouvriers.

L'analyse en termes de coût apparaît donc délicate à mener et difficile à interpréter. Le caractère parcellaire de nos conclusions

---

(1) Cf. R. LANG, thèse, op. cit., annexe IV H.

montre à l'évidence l'intérêt de questions précises sur la perception du coût du voyage en automobile ainsi que sur la prise en charge du financement des voyages et notamment des voyages professionnels pour parvenir à une compréhension plus fine du comportement du voyageur.

TABLEAU VII.21

Influence des coûts de transport : test de comparaison des coefficients de l'analyse logit selon le motif

Variable	Coefficient		Différence	Ecart-type de la différence	Test de Student	Seuil de signification
	Motif professionnel	Motif personnel				
CRCA	0,064	0,075	0,011	$0,78 \times 10^{-2}$	1,47	0,141
CRKM	0,039	0,045	0,006	$0,32 \times 10^{-2}$	1,95	0,051
CRTO	0,014	0,016	$0,20 \times 10^{-2}$	$0,84 \times 10^{-3}$	3,01	0,001
CFE	0,034	0,020	0,014	$0,38 \times 10^{-2}$	3,89	0,001
CTT	0,114	- 0,103	0,217	0,073	2,97	0,001
DICA	- 0,013	0,016	0,029	$0,47 \times 10^{-2}$	6,21	0,001
DIKM	- 0,011	0,017	0,029	$0,44 \times 10^{-2}$	6,55	0,001
DITO	$- 0,54 \times 10^{-2}$	0,011	$0,016 \times 10^{-2}$	$0,29 \times 10^{-2}$	5,52	0,001

IV - L'INFLUENCE DE LA VALEUR DU GAIN DE TEMPS DANS LE CHOIX DU MODE DE TRANSPORT

1 - PRINCIPE ET MODELES

La valeur du temps, on l'a vu en première partie, est l'une des composantes principales de la décision entre deux modes de transport au point que si deux modes sont absolument identiques sauf sur le plan de la vitesse et du coût, alors la valeur du temps reste logiquement le seul élément explicatif du choix. Mais des différences fondamentales distinguent le transport ferroviaire du transport automobile et expliquent que la valeur du temps ne puisse être seul élément du choix. Le sixième chapitre a été consacré à dégager les différents facteurs qui façonnent le choix sans tenir compte explicitement des performances monétaires ou techniques. Dans ce septième chapitre nous cherchons à mesurer directement l'influence de ces performances. Les fortes corrélations entre ces variables ont jusqu'alors empêché d'obtenir des modèles très satisfaisants ; nous en proposons maintenant un nouveau type où seules les différences de temps et de coût interviennent. La perte d'information étant assez considérable, la capacité d'explication ne pourra être qu'inférieure à celle des modèles précédents. Par contre en expliquant le choix uniquement par la valeur du gain de temps on peut mieux dégager la valeur que les voyageurs lui accordent, en évitant le risque de corrélation avec d'autres variables.

Pour éviter de perdre l'explication apportée par le revenu, variable des plus pertinentes et élément déterminant de la valeur du temps, une analyse stratifiée selon le revenu s'impose. Elle a en outre le mérite de vérifier dans le cadre de la concurrence rail-route le résultat théorique selon lequel les valeurs du gain de temps qui font l'arbitrage entre le train et la voiture évoluent dans le même sens que le revenu. Enfin, le rôle important que joue le motif sur la valeur apparente du temps justifie le maintien de la séparation par motif.

Le principe de détermination de la valeur du temps est simple ; nous considérons que le choix demeure inchangé si la probabilité demeure constante. Avec ce type de modèle la probabilité s'exprime ainsi :

$$P = \frac{\exp (a_0 + a_1 \Delta T + a_2 \Delta C)}{1 + \exp (a_0 + a_1 \Delta T + a_2 \Delta C)}$$

De cette expression on déduit :

$$\Delta C = \frac{\text{Log} \left(\frac{P}{1-P}\right) - a_0}{a_2} - \frac{a_1}{a_2} \Delta T$$

Cette équation détermine une famille de droites d'isoprobabilité à partir desquelles on calcule le coût supplémentaire qu'accepterait de payer un voyageur afin de réduire d'une heure le temps de transport tout en le maintenant sur la même droite d'isoprobabilité.

La structure micro-économétrique du modèle permet d'intégrer toutes les personnes qui par leur choix manifestent une valeur apparente du temps négative, c'est une supériorité sur les modèles macro-économétriques qui visent à expliquer les répartitions de trafics à partir de la valeur du gain de temps exclusivement. La seule exigence logique de ces modèles est que les coefficients qui affectent les différences de coût et les différences de temps aient des signes tels que pour maintenir la probabilité constante un supplément de coût s'échange avec une diminution du temps. Si tel n'était pas le cas il faudrait alors renoncer à toute explication du choix à partir de la valeur du temps.

Il importe pour bien analyser la valeur du gain de temps de définir parfaitement les différences de temps et de coût. Toute différence est définie comme une quantité "route" moins une quantité "fer" :

Δ C = coût route - coût fer
Δ T = temps route - temps fer

Nous avons choisi les différences de quantités totales afin d'obtenir la meilleure évaluation de porte à porte : pour le temps, la différence est égale au temps total routier moins le temps total ferroviaire, c'est-à-dire le temps du parcours ferroviaire augmenté des deux temps terminaux. La définition de la différence de coût est plus délicate car on se heurte toujours à la définition du coût routier et la valeur du temps dépendra évidemment du choix que l'on fera. Jusqu'alors aucun résultat ne permet de trancher entre les trois notions de coût proposées, c'est pourquoi trois modèles sont appliqués aux différentes sous-populations déterminées par les stratifications selon le motif et selon le revenu.

MODELE 301 (tableau VII.22)

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ DIFET} + a_2 \text{ DICA}$$

DIFET : différence de temps total
DICA : différence de coût total en prenant le coût carburant

MODELE 302 (tableau VII.23)

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ DIFET} + a_2 \text{ DIKM}$$

DIKM : différence de coût total en prenant le coût-kilomètre roulant

MODELE 303 (tableau VII.24)

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ DIFET} + a_2 \text{ DITO}$$

DITO : différence de coût total en utilisant le coût global.

Ces trois modèles permettent d'évaluer la valeur du temps en la supposant constante quelle que soit la situation de l'offre. Mais on peut supposer que les avantages liés à un gain ou une perte de temps ne sont pas perçus de la même façon selon la situation de l'offre ferroviaire par rapport à l'offre routière. Par ailleurs certaines différences de temps ont pu être surévaluées à cause d'un éventuel arrêt volontaire dans une ville du parcours. Ces deux remarques conduisent à donner une expression logistique de la différence de temps afin d'atténuer l'importance des grandes différences:

MODELE 304 (tableau VII.25)

$$G(X) = a_0 + a_1 \frac{\exp (DIFET)}{1 + \exp (DIFET)} + a_2 \, DICA$$

MODELE 305 (tableau VII.26)

$$G(X) = a_0 + a_1 \frac{\exp (DIFET)}{1 + \exp (DIFET)} + a_2 \, DIKM$$

La stratification retenue est issue de l'arbitrage entre deux contraintes antagonistes. D'une part il faudrait à la limite autant de strates que de classes de revenu définies dans l'enquête ; mais d'un autre côté il est nécessaire de rassembler pour chaque strate un nombre convenable d'observations faute de quoi les résultats ne sont pas significatifs. Le découpage le plus satisfaisant détermine pour chaque motif trois groupes de revenus :

- inférieur à 10 000 francs
- de 10 000 à 30 000 francs
- plus de 30 000 francs.

Le test du ratio de vraisemblance appliqué à chacun des modèles permet de rejeter l'hypothèse d'indépendance du choix avec un risque d'erreur de 1°/₀₀ pour cinq des six sous-populations définies par les deux stratifications. La valeur la plus faible égale à 13,43 est obtenue pour les voyages professionnels des personnes dont le revenu est inférieur à 10 000 francs en utilisant le coût carburant ; ce résultat est logique dans la mesure où cette sous-population a l'effectif le plus faible. Mais dans ce cas l'hypothèse d'indépendance peut être rejetée avec un risque d'erreur inférieur à 5°/₀₀.

Pour les voyages professionnels aussi bien que personnels les modèles qui intègrent le coût carburant ont un pseudo-R^2 inférieur à ceux qui intègrent le coût "kilomètre roulant". La prise en compte du coût kilomètre roulant donne les modèles les plus performants pour les sous-populations caractérisées par un revenu inférieur à 10 000 francs. Par contre les modèles fondés sur le coût global ont un pseudo-R^2 supérieur pour les autres sous-populations.

Ces résultats suggèrent que c'est avec le coût global qu'on parvient le mieux à évaluer la valeur du temps. Or le modèle 303 n'offre de coefficient significatif pour la différence de temps que pour une des six sous-populations (motif professionnel, revenus entre 10 000 et 30 000 F). D'autre part on observe une stabilité de la valeur du coefficient de la différence de temps lorsqu'on emploie soit le coût carburant, soit le coût du kilomètre roulant ; cette stabilité disparaît avec l'utilisation du coût global bien que le coefficient de corrélation linéaire entre les deux variables ne dépasse pas 0,36. Dès lors il devient difficile de se fier à l'évaluation de la valeur du temps que donne ce modèle. C'est pourquoi la différence de coût définie avec le coût global a été abandonnée dans les modèles intégrant l'expression logistique de la différence de temps.

TABLEAU VII.22

MODELE 301

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ DIFET} + a_2 \text{ DICA}$$

Revenu < 10 000 F

Coefficient	Motif professionnel		Motif personnel	
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student
a_0	- 2,7812	9,210	- 1,832	- 8,105
a_1	0,015	3,657	$0,92 \times 10^{-2}$	2,460
a_2	0,040	2,937	0,086	6,440
Test du ratio de vraisemblance		13,430		58,799
Nombre de degrés de liberté		2		2
Pseudo - R^2		0,113		0,315
Coefficient de corrélation		- 0,378		- 0,248

10 000 F ⩽ Revenu < 30 000 F

Coefficient	Motif professionnel		Motif personnel	
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student
a_0	- 0,713	- 9,8248	- 0,852	- 8,511
a_1	$0,66 \times 10^{-2}$	3,4533	0,010	7,585
a_2	$0,88 \times 10^{-2}$	7,0881	0,042	10,799
Test du ratio de vraisemblance		54,679		170,571
Nombre de degrés de liberté		2		2
Pseudo - R^2		0,048		0,206
Coefficient de corrélation		- 0,292		- 0,253

30 000 ⩽ Revenu

Coefficient	Motif professionnel		Motif personnel	
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student
a_0	0,644	7,1893	0,606	4,128
a_1	$0,54 \times 10^{-2}$	5,0159	$0,53 \times 10^{-2}$	3,150
a_2	$0,26 \times 10^{-2}$	0,9864	0,021	4,981
Test du ratio de vraisemblance		28,8438		29,969
Nombre de degrés de liberté		2		2
Pseudo - R^2		0,0334		0,084
Coefficient de corrélation		- 0,239		- 0,230

TABLEAU VII.23

MODELE 302

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ DIFET} + a_2 \text{ DIKM}$$

Revenu < 10 000 F

Coefficient	Motif professionnel		Motif personnel	
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student
a_0	- 3,2196	- 8,742	- 2,9836	- 10,463
a_1	0,0104	2,596	0,0026	0,686
a_2	0,0326	3,010	0,0735	6,763
Test du ratio de vraisemblance		17,825		73,803
Nombre de degrés de liberté		2		2
Pseudo - R^2		0,149		0,388
Coefficient de corrélation		- 0,088		- 0,047

10 000 F ⩽ Revenu < 30 000 F

Coefficient	Motif professionnel		Motif personnel	
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student
a_0	- 0,9290	- 12,454	- 1,3937	- 14,285
a_1	0,0061	6,643	0,0068	5,167
a_2	0,0166	7,591	0,0429	12,880
Test du ratio de vraisemblance		103,208		249,564
Nombre de degrés de liberté		2		2
Pseudo - R^2		0,088		0,291
Coefficient de corrélation		- 0,037		- 0,035

30 000 F ⩽ Revenu

Coefficient	Motif professionnel		Motif personnel	
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student
a_0	0,5254	6,0511	0,3374	2,551
a_1	0,0056	5,3810	0,0042	2,584
a_2	0,0137	5,8801	0,0271	7,107
Test du ratio de vraisemblance		61,662		64,902
Nombre de degrés de liberté		2		2
Pseudo - R^2		0,049		0,175
Coefficient de corrélation		- 0,009		0,094

TABLEAU VII.24

MODELE 303

$$G(X) = a_0 + a_1 \text{ DIFET} + a_2 \text{ DITO}$$

Revenu < 10 000 F

Coefficient	Motif professionnel		Motif personnel	
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student
a_0	- 3,591	- 8,415	- 4,411	- 10,159
a_1	$0,51 \times 10^{-2}$	1,251	$- 0,53 \times 10^{-2}$	- 1,353
a_2	0,013	3,215	0,032	7,064
Test du ratio de vraisemblance		12,428		72,968
Nombre de degrés de liberté		2		2
Pseudo - R^2		0,105		0,384
Coefficient de corrélation		0,299		0,225

10 000 ⩽ Revenu < 30 000 F

Coefficient	Motif professionnel		Motif personnel	
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student
a_0	- 1,6236	- 15,075	- 2,429	- 18,444
a_1	$0,19 \times 10^{-2}$	2,023	$- 0,15 \times 10^{-3}$	- 0,113
a_2	0,012	10,972	0,022	14,060
Test du ratio de vraisemblance		171,450		289,529
Nombre de degrés de liberté		2		2
Pseudo - R^2		0,144		0,332
Coefficient de corrélation		0,343		

30 000 ⩽ Revenu

Coefficient	Motif professionnel		Motif personnel	
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student
a_0	- 0,51942	- 4,223	- 0,722	- 4,431
a_1	0,00	1,253	$0,32 \times 10^{-3}$	0,203
a_2		12,056	0,018	9,198
Test du ratio de vraisemblance		195,953		116,895
Nombre de degrés de liberté		2		2
Pseudo - R^2		0,212		0,299
Coefficient de corrélation		0,361		0,224

TABLEAU VII.25

MODELE 304

$$G(X) = a_0 + a_1 \frac{e^{DIFET}}{1 + e^{DIFET}} + a_2 DICA$$

Coefficient	Motif professionnel		Motif personnel	
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student
a_0	- 5,127	- 5,5928	- 2,897	- 4,202
a_1	4,629	3,5078	2,217	1,960
a_2	0,041	2,9385	0,086	6,398
Test du ratio de vraisemblance		13,1949		56,663
Nombre de degrés de liberté		2		2
Pseudo - R^2		0,1116		0,305
Coefficient de corrélation		- 0,376		- 0,246

Coefficient	Motif professionnel		Motif personnel	
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student
a_0	- 1,647	- 8,008	- 2,240	- 8,093
a_1	1,892	6,178	2,815	6,599
a_2	$0,79 \times 10^{-2}$	3,143	0,041	10,590
Test du ratio de vraisemblance		41,500		155,981
Nombre de degrés de liberté		2		2
Pseudo - R^2		0,036		0,190
Coefficient de corrélation		- 0,292		- 0,249

Coefficient	Motif professionnel		Motif personnel	
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student
a_0	- 0,392	- 1,628	- 0,521	- 1,363
a_1	1,970	5,486	2,099	3,637
a_2	$0,32 \times 10^{-2}$	1,206	0,021	5,089
Test du ratio de vraisemblance		30,528		32,358
Nombre de degrés de liberté		2		2
Pseudo - R^2		0,035		0,090
Coefficient de corrélation		- 0,289		- 0,252

TABLEAU VII.26

MODELE 305

$$G(X) = a_0 + a_1 \frac{e^{DIFET}}{1 + e^{DIFET}} + a_2 DIKM$$

Coefficient	Motif professionnel		Motif personnel	
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student
a_0	- 4,9136	- 5,127	- 3,1427	- 4,422
a_1	3,3081	2,480	0,3704	0,320
a_2	0,0332	3,167	0,0742	6,814
Test du ratio de vraisemblance	17,5795		73,43	
Nombre de degrés de liberté	2		2	
Pseudo - R^2	0,147		0,386	
Coefficient de corrélation (DIFET DIKM)	- 0,104		- 0,056	

Coefficient	Motif professionnel		Motif personnel	
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student
a_0	- 1,7713	- 8,544	- 2,2746	- 8,089
a_1	1,7234	5,813	1,8321	4,363
a_2	0,0164	7,572	0,0427	12,876
Test du ratio de vraisemblance	92,002		241,904	
Nombre de degrés de liberté	2		2	
Pseudo - R^2	0,079		0,284	
Coefficient de corrélation (DIFET DIKM)	- 0,043		- 0,045	

Coefficient	Motif professionnel		Motif personnel	
	Estimation du coefficient	Test de Student	Estimation du coefficient	Test de Student
a_0	- 0,574	- 2,343	- 0,636	- 1,604
a_1	2,066	5,939	1,770	3,070
a_2	0,014	6,032	0,027	7,141
Test du ratio de vraisemblance	65,241		67,239	
Nombre de degrés de liberté	2		2	
Pseudo - R^2	0,074		0,181	
Coefficient de corrélation (DIFET DIKM)	- 0,046			

2 - LA VALEUR DU GAIN DE TEMPS : VARIABLE EXPLICATIVE DU CHOIX

La valeur du gain de temps introduite comme combinaison des différences de temps et de coût ne relève pas des tests statistiques habituels pour mesurer le degré de confiance que l'on peut accorder à cette variable. Mais à défaut d'un seuil de confiance on peut considérer que le rapport des deux coefficients donne une indication de la valeur du temps lorsqu'ils sont significatifs et s'ils sont affectés des signes adéquats.

Tous les modèles à part le 303 affectent les différences de temps et de coût de signes adéquats, impliquant que pour ne pas modifier sa situation de choix on doit payer un coût supplémentaire pour économiser du temps de transport. Dans l'ensemble les coefficients des différences de coût sont plus souvent significatifs que ceux des différences de temps ; en particulier le modèle 303 se singularise de nouveau en affectant la différence de temps d'un seul coefficient significatif sur six. Cette série de résultats du modèle 303, incohérente au regard de la théorie économique élimine le coût global comme base d'évaluation de la différence de temps.

C'est donc des modèles 301 et 302 que sont tirées les évaluations de la valeur du temps. Comme on pouvait s'y attendre les valeurs sont plus élevées lorsque les différences de coût sont mesurées à partir du coût carburant (cf. tableau VII.27). Toutefois on ne doit pas accorder aux valeurs numériques présentées trop de crédit, dans la mesure où d'une part la méthode de leur évaluation reste assez approximative et surtout où elles ne reposent pas sur le coût effectivement perçu par les automobilistes ; tant que cette perception restera mal connue on n'obtiendra qu'une approximation indicative.

Il est plus instructif d'observer les tendances qui se dessinent à partir de ces résultats. Deux résultats importants sont à souligner : la valeur du temps est toujours plus élevée pour les voyages professionnels et tend à croître avec le revenu.

Avec le modèle 301 on obtient des coefficients toujours significatifs pour les voyages personnels ; par contre pour les voyages professionnels le coefficient de la différence de coût se montre non significatif pour les revenus supérieurs à 30 000 francs. On se trouve dans une situation quasi symétrique avec le modèle 302 où tous les coefficients sont significatifs pour le motif professionnel, mais le coefficient de la différence de temps ne l'est pas pour les voyages personnels de la catégorie dont le revenu est inférieur à 10 000 francs. Ces résultats témoignent vraisemblablement d'une perception de la valeur du temps différente selon le motif. Le coût du kilomètre roulant rend mieux compte du choix pour les voyages professionnels, tandis que pour les autres les résultats sont plus souvent significatifs avec le coût carburant. Pour les faibles revenus, les voyages personnels seraient exclusivement sensibles au coût ; à l'inverse les voyages professionnels des personnes dont le revenu est élevé se montrent principalement sensibles au temps.

Pour l'un et l'autre motif l'élévation de la valeur du temps croît parallèlement à l'augmentation du revenu. Les faibles variations constatées entre les strates de revenu ont engagé à tester les différences des coefficients des deux variables explicatives d'une strate à l'autre. Parmi les différences des coefficients des différences de temps

GRAPHIQUE VII.6

Calcul de la valeur du temps

MOTIF PROFESSIONNEL

Droite d'isoprobabilité : modèle 302

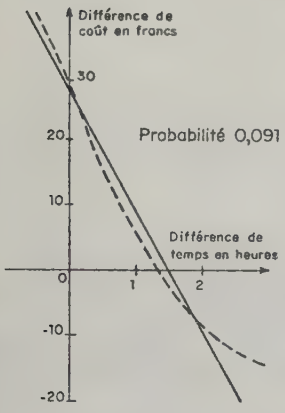
Courbe d'isoprobabilité : modèle 305

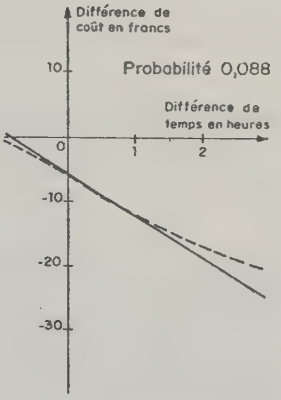
MOTIF PERSONNEL

Droite d'isoprobabilité : modèle 301

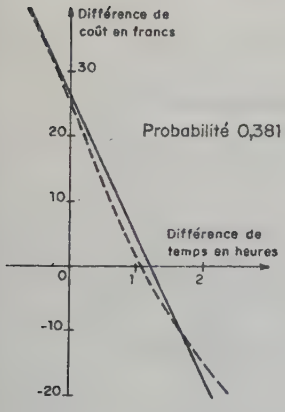
Courbe d'isoprobabilité : modèle 304

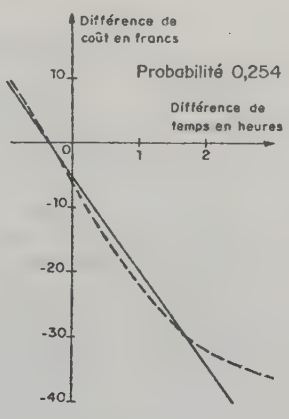
Revenus inférieurs à 10 000 francs



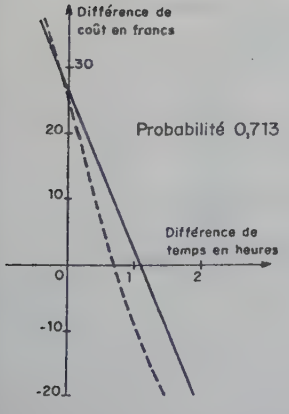


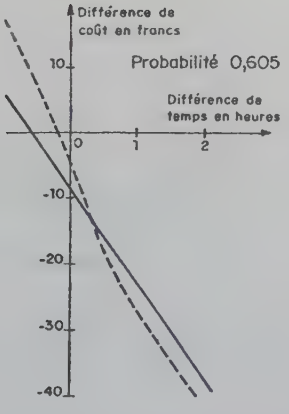
Revenus compris entre 10 000 et 30 000 francs





Revenus supérieurs à 30 000 francs





obtenues par le modèle 301 appliqué aux voyages personnels, une seule se révèle significative ; mais ce même calcul effectué sur les différences de coût présente trois différences significatives à un seuil de confiance élevé ; on peut en déduire que l'élévation de la valeur du temps est dans le cas des voyages personnels principalement due à un amoindrissement de la sensibilité au coût. Le même calcul a été effectué à partir du modèle 302 pour les voyages professionnels. En ce cas aucune différence ni de temps ni de coût n'étant significative, il est difficile de déceler l'origine de l'élévation de la valeur du temps. Cette observation atténue la portée de la vérification du résultat théorique selon lequel la valeur du temps croît avec le revenu.

Les deux modèles utilisant la quantité logistique de la différence de temps confirment les résultats des modèles 301 et 302 et montrent que sur la plage des variations réelles des différences de temps, l'ajustement logistique est voisin de l'ajustement linéaire (cf. graphiques VII.6).

Cette étude ne permet pas de cerner exactement quelle valeur du temps intervient dans le choix modal mais elle met en évidence son rôle significatif lors de la décision ; les voyageurs sont sensibles au gain de temps et conçoivent qu'il s'échange contre de l'argent. La valeur apparente du temps d'une part varie avec le motif, d'autre part tend à croître avec le revenu. On voit par là l'intérêt de constituer des populations dont le comportement soit homogène.

TABLEAU VII.27

Estimation de la valeur du gain de temps

Revenus en francs	Valeur du temps calculée avec le modèle 301 en Francs/heure	
	Motif professionnel	Motif personnel
Revenus < 10 000	22	6,4
10 000 ⩽ Revenus < 30 000	45	14,5
30 000 ⩽ Revenus	120 (1)	15

Revenus en francs	Valeur du temps calculée avec le modèle 302 en Francs/heure	
	Motif professionnel	Motif personnel
Revenus < 10 000	19	2 (1)
10 000 ⩽ Revenus < 30 000	22	9
30 000 ⩽ Revenus	24,5	9,5

(1) Valeur non significative

TABLEAU VII.28

Test de comparaison des coefficients de différence de temps et de différence de coûts selon les classes de revenu

MODELE 302 - MOTIF PROFESSIONNEL

Coefficients (écart-type)		Revenus		Différence	écart-type de la différence	Test de Student	Seuil de signification
		moins de 10 000 F	de 10 000 à moins de 30 000 F	de 30 000 F et plus				
DIFET	0,0104 ($0,40 \times 10^{-2}$)	$0,60 \times 10^{-2}$ ($0,90 \times 10^{-3}$)		$0,45 \times 10^{-2}$	$0,41 \times 10^{-2}$	1,10	0,271
		"		$0,39 \times 10^{-3}$	$0,13 \times 10^{-2}$	0,29	0,772
			$0,56 \times 10^{-2}$ ($0,10 \times 10^{-2}$)				
	"		"	$0,48 \times 10^{-2}$	$0,41 \times 10^{-2}$	1,17	0,242
DIKM	0,0326 (0,0105)	0,0166 ($0,22 \times 10^{-2}$)		0,0160	0,011	1,45	0,147
		"		$0,29 \times 10^{-2}$	$0,32 \times 10^{-2}$	0,91	0,363
			0,0137 ($0,23 \times 10^{-2}$)				
	"		"	0,019	0,0107	1,77	0,077

TABLEAU VII.28

Test de comparaison des coefficients de différence de temps et de différence de coûts selon les classes de revenu

MODELE 301 - MOTIF PERSONNEL

Coefficients (écart-type)	Revenus			Différence	écart-type de la différence	Test de Student	Seuil de signification
	moins de 10 000 F	de 10 000 à moins de 30 000 F	de 30 000 F et plus				
DIFET	$0,92 \times 10^{-2}$ $(0,37 \times 10^{-2})$	$0,010$ $(0,14 \times 10^{-2})$		$0,10 \times 10^{-2}$	$0,40 \times 10^{-2}$	0,25	0,802
	"	"	$0,53 \times 10^{-2}$ $(0,17 \times 10^{-2})$	$0,50 \times 10^{-2}$	$0,21 \times 10^{-2}$	2,38	0,017
	"		"	$0,40 \times 10^{-2}$	$0,41 \times 10^{-2}$	0,91	0,363
DICA	0,087 (0,013)	$0,0424^{-2}$ $(0,39 \times 10^{-2})$		0,044	0,014	3,15	0,001
	"	"	$0,021^{-2}$ $(0,42 \times 10^{-2})$	0,022	0,0057	3,85	0,001
	"		"	0,066	0,014	4,66	0,001

CONCLUSION GÉNÉRALE

Entre le début de cette étude et la publication des résultats plusieurs années se sont écoulées et ont vu le marché des transports sensiblement se transformer. La crise pétrolière née en 1974 a modifié certaines données du choix, notamment en grevant le coût relatif du déplacement automobile. Mais cet événement d'ordre conjoncturel, ne remet pas en cause les principaux résultats dans la mesure où notre méthode d'analyse visait essentiellement à dégager les aspects structurels du choix. Or l'analyse des résultats fait apparaître que les mutations observées avaient déjà leurs racines avant la crise pétrolière qui en a été le catalyseur plutôt que l'origine. C'est pourquoi bien qu'issus d'enquêtes anciennes les enseignements de cette étude sur la concurrence rail-route sont loin d'être caduques d'autant que la mutation structurelle engagée n'est pas terminée.

L'enseignement le plus caractéristique de l'étude est sans conteste apporté par le revenu dont l'influence s'exerce à deux niveaux. Par son influence sur la motorisation l'élévation du revenu élargit l'étendue de la concurrence entre le train et la voiture ; les personnes qui se motorisent cessent d'être captives du train et comme le montre l'évolution de la probabilité de choix en fonction du revenu, il y a de fortes chances qu'elles choisissent la voiture. Encourageant la motorisation l'élévation globale du revenu a été le principal facteur d'érosion du monopole des transports terrestres et explique qu'au cours de la décennie 1960-70 le trafic des rapides et express ne se soit accru que de 2 % par an alors que le taux de croissance de la circulation routière sur les routes nationales était voisin de 10 %. Mais après 1970, au moment où le taux de motorisation des ménages se ralentit, l'évasion du trafic ferroviaire est moindre d'autant plus, et c'est là un résultat fondamental, que si le revenu continue de s'élever, accroissant la mobilité générale de la population, les personnes motorisées manifestent une préférence de plus en plus nette pour la solution ferroviaire. Ceci explique que depuis 1970 la circulation routière ait une croissance ralentie alors que le trafic ferroviaire progresse à un rythme accéléré.

Nous sommes en effet entrés dans une phase de net ralentissement de la motorisation puisqu'il apparaît que 90 % des nouvelles immatriculations en France correspondent à une demande de remplacement. L'année 1969 ou plus globalement le début de la décennie 1970-80 apparaît comme une étape importante car non seulement elle marque la fin de la conquête rapide de l'automobile, consécutive à la motorisation des ménages, mais elle marque aussi le début d'une période où le chemin de fer améliore sensiblement son offre en accroissant la fréquence, la rapidité et le confort des trains.

Ainsi une nouvelle situation d'équilibre se met en place où la part des captifs ferroviaires tend à se stabiliser. En effet, si le désir d'accéder à l'automobile demeure très fort et l'on peut dire que la possession d'une automobile est considérée à la fois comme indispensable et banale, il reste qu'actuellement 30 % environ des ménages ne

sont pas motorisés et seuls 15, au maximum 20 %, sont susceptibles de le faire à l'avenir. Sur ce point des prévisions de l'INSEE montrent que si les revenus croissent de 4 % par an d'ici à 1985 on assisterait à un nouveau ralentissement de l'équipement des ménages en automobile puisque le taux d'équipement ne dépasserait pas 75 % en 1985 ; le taux de multimotorisation passerait de 11 à 22 %. Ainsi le ralentissement de la motorisation et la hausse du revenu réel, dans la mesure où elle se poursuivrait, interviennent dans un sens favorable au chemin de fer ou du moins à tout système de transport terrestre guidé.

Mais à l'avenir, la variable fondamentale sera moins le revenu que la politique d'aménagement du territoire et à travers elle principalement la façon d'aménager l'espace urbain. En effet les disparités que l'on observe tant en Europe qu'aux Etats-Unis entre le centre des villes et les zones périphériques, mais plus encore entre les régions urbaines antérieures à l'avènement de l'automobile et celles qui se sont développées avec elle, montrent que l'occupation du sol urbain peut faire de l'automobile un bien d'équipement du ménage remis en question. Les tendances que l'on constate en France à la réhabilitation des quartiers anciens et des centres de ville peuvent contribuer à une démotorisation qui ne sera peut-être pas compensée par la surmotorisation des zones périphériques dont la faible densité pousse les ménages à une double motorisation alors que ni la structure par âge, ni la structure de revenu ne laisse prévoir ce double équipement. Mais quel que soit le développement futur de la motorisation, il est évident qu'une amélioration des transports urbains collectifs, comme le montre notre étude, sera un facteur favorable au train d'autant plus que la situation dans les zones périphériques n'apparaît pas à l'analyse comme un facteur de rejet du train. Si les études de demande de transport doivent nécessairement analyser séparément les différents marchés, on ne doit pas oublier dans l'interprétation des résultats que les modes de transport interviennent sur des marchés qui ne sont pas cloisonnés. A fortiori les orientations d'une politique de transport doivent tenir compte de l'interdépendance naturelle entre les différents marchés. A ce propos il paraît singulier que la Commission présidée par Pierre GUILLAUMAT n'ait à aucun moment envisagé ses propositions dans un cadre global, négligeant par là les liens qui unissent les transports interurbains aux transports intra-urbains.

Les perspectives d'évolution que nous venons de tracer doivent être tempérées. En effet la croissance du revenu, même si elle se poursuit, la promotion des transports collectifs dans les aires métropolitaines ne sauraient modifier fondamentalement la place que l'automobile a acquise dans nos sociétés. Il ne faut pas oublier que le revenu est un facteur de mobilité générale et que ce sont les mêmes personnes qui voyagent le plus par le fer qui voyagent aussi le plus par la route. Ainsi une croissance générale des revenus qui améliorerait la part du fer contribuerait aussi à accroître la circulation routière comme l'indique la forte corrélation entre le revenu et le nombre de kilomètres parcourus en automobile. D'autre part les résultats obtenus mettent en évidence une relative inertie du choix par rapport aux variables d'offre, différence de temps, différence de coût. Même si celle-ci est due en partie à la mauvaise qualité des données routières reconstituées elle confirme néanmoins des résultats obtenus sur la circulation routière et en particulier la faible élasticité du kilomètre parcouru en automobile par rapport au prix réel de l'essence. Cette inertie du choix révèle donc une faible substituabilité de ces modes de transport aux variables d'offre, au moins dans le court terme. En effet la disposition de données ponctuelles ne permettait pas de mettre en évidence des modifications de comportement sur de longues périodes. La faible substituabilité mise en évidence montre que

loin d'être uniquement des concurrents, le train et l'automobile sont des moyens de transport souvent complémentaires comme en témoigne le développement des diverses formules du train automobile accompagnée. Elle montre aussi que la définition d'un service complet offrant simultanément le voyage ferroviaire, des aires de stationnement vastes à proximité des gares et la location de voiture à destination, est une voie de recherche dans laquelle il faut s'engager. Un tel service a non seulement le mérite de satisfaire les voyageurs en combinant la vitesse, la régularité et la sécurité du train sur le parcours principal avec la souplesse de l'automobile pour le parcours terminal, mais aussi dans un contexte de crise énergique de favoriser le choix collectif le plus rationnel.

Implicitement toute notre étude repose sur le théorème fondamental de la théorie de la préférence révélée selon lequel l'individu révèle ses préférences par les choix qu'il effectue. Or cette hypothèse de comportement présente deux faiblesses. Tout d'abord l'individu peut ne pas révéler ses préférences par son choix, d'autre part même si les préférences sont bien révélées, rien n'assure que leur prise en compte conduise au niveau collectif à une situation optimale. Dans ces conditions, fonder une politique des transports uniquement sur les résultats d'étude de choix individuels risque de conduire à des situations insatisfaisantes pour la collectivité comme pour l'individu.

Au niveau individuel le voyageur ne traduit pas forcément sa préférence pour le train ou l'automobile en choisissant l'un de ces deux modes. Le mode de transport peut être imposé par l'unité dans laquelle vit l'individu (ménage, entreprise, ...). Dans ces conditions le choix ne manifeste plus la préférence individuelle ; cette limite n'est guère contraignante dans la mesure où la préférence d'un petit groupe considéré comme homogène se substitue à celle de l'individu. Des particularités de l'offre ou des considérations extérieures au voyage peuvent venir bouleverser des choix spontanés, par exemple : difficultés d'horaires ou de desserte terminale, considérations économiques ou même morales. Le choix n'étant jamais abstrait du contexte socio-culturel, il n'existe pas de satisfactions individuelles autonomes et nous avons montré que le choix n'est pas insensible aux manipulations des préférences. Même si les préférences étaient correctement révélées, il ne reviendrait encore pas aux résultats de telles analyses de décider de la politique des transports.

Imaginons un instant que des études concluant à la désaffectation des transports collectifs, décident l'Autorité Publique à abandonner leur exploitation. Sans parler de la protestation des "déshérités" du transport individuel ou des réfractaires, ceux-là mêmes qui se déclaraient favorables à l'automobile verraient leur niveau de satisfaction diminuer en raison du chaos suscité par les embouteillages, accidents et autres nuisances. Cette politique répondant aux satisfactions individuelles aboutirait à une situation désastreuse non seulement au niveau collectif mais aussi au niveau individuel. Que manifesterait alors une nouvelle étude si ce n'est une préférence pour des solutions collectives ? A la suite de quoi on interdirait l'usage individuel de l'automobile et chacun contemplant les rues et les routes où circulent aisément des transports collectifs aurait le sentiment que sa situation ne pourrait que s'améliorer s'il disposait d'un moyen individuel. On retrouve la situation initiale. Manifestement les préférences individuelles ne parviendraient pas à déterminer une situation collective optimale.

Une véritable politique des transports ne doit pas reposer exclusivement sur les faits existants que transcrivent les résultats

d'enquêtes mais doit anticiper le développement à partir de ces données. Il n'est pas douteux que des mesures récentes (limitation généralisée de la vitesse, port obligatoire de la ceinture de sécurité, ...) traduisent plus une fonction de préférence étatique que le souci de ménager les satisfactions individuelles. Un des objectifs des analyses est de prévoir l'impact des mesures qui vont à l'encontre des préférences individuelles et de savoir comment les faire accepter. Les analyses constituent le relais indispensable entre les préférences individuelles qu'aucune politique ne peut ignorer et les exigences de la collectivité. L'Etat intervient lorsque l'activité individuelle est incapable de promouvoir une production cohérente de services ou lorsque l'activité individuelle conduit vers des monopoles qu'il est souhaitable de contrôler. Ce sont ces deux raisons qui ont conduit la Puissance Publique à intervenir tant dans le domaine routier que ferroviaire.

Si l'Etat dans certains cas cherche à se substituer à l'initiative privée ou en contrôle l'action, surtout il définit et oriente la politique générale des transports. En France c'est la loi du 5 juillet 1949 qui sert de cadre à l'intervention de l'Etat : elle énonce de façon explicite qu'il s'agit de chercher le coût global minimum pour la collectivité. Depuis trente ans la politique de l'Etat est axée sur l'amélioration de la coordination entre les modes de transport et s'inspire notamment de travaux de la CEE, préconisant l'harmonisation des conditions de concurrence.

Chargée de présenter des orientations pour les transports terrestres, la Commission présidée par Pierre GUILLAUMAT énonce que "le fonctionnement de l'appareil des transports terrestres selon les règles de l'économie de marché est possible" (1). Or dans le fait même de cette affirmation abrupte on pressent que ce n'est pas là une solution évidente. D'ailleurs dans le rapide historique tracé par cette commission il apparaît clairement que si le système des transports n'a pu fonctionner selon l'économie de marché, c'est parce que des événements extérieurs tels que la crise de 1929, la guerre, la reconstruction, la crise pétrolière l'en ont empêché. On est alors en droit de s'interroger légitimement s'il est sain de préconiser un tel système, lorsque celui-ci s'avère incapable d'affronter sans dysfonctionnement des situations difficiles et ce d'autant plus que la crise de l'énergie est loin d'être achevée. S'il est vrai que "le jeu de la concurrence peut corriger un excès regrettable et mal connu des déplacements et transports", on est encore en droit de s'interroger sur les excès qui ne manqueraient pas de surgir à la suite d'une politique libérale trop systématique. Par nature les transports n'ont jamais pu s'accommoder de l'économie de marché sans faire apparaître des distorsions graves de la concurrence. Pour s'en convaincre il suffit de se reporter aux multiples interventions en ce domaine des Etats, même les plus épris de libéralisme.

Certes l'économie de marché dans son principe a l'incontestable mérite d'inciter à la compression des coûts dont l'usager et le consommateur citoyen doit être le premier bénéficiaire. Mais pour l'essentiel il s'agit de coûts privés or l'Etat ne doit pas méconnaître que les transports plus que beaucoup d'autres activités engendrent des coûts sociaux élevés (nuisances, encombrements, hécatombes, gaspillage énergétique, ...) qui doivent être pris en compte. Bien que la Commission ait abordé chacun de ces points, les conclusions n'emportent pas la conviction car elles paraissent reposer sur une approche théorique normative trop souvent démentie par les faits.

---

(1) Rapport GUILLAUMAT, page 5.

Enfin les responsables de la politique des transports ne doivent pas ignorer que bien que l'automobile et le train aient vocation à fournir unsservice de transport, des différences fondamentales les séparent. Alors, si la recherche d'une meilleure harmonisation des conditions de concurrence pour parvenir au coût global minimum doit rester la clef de voûte de l'intervention de l'Etat, il faut que celle-ci se traduise par une volonté non seulement affichée mais aussi affirmée de rechercher toutes les composantes du coût global et d'appliquer des contraintes équitables à chacun des modes.

BIBLIOGRAPHIE

ALLAIS M. — "Le problème de la coordination des transports et de la théorie économique", Revue d'Economie Politique, vol. LVIII, n° 2, mars-avril 1948, p. 212 à 271.

ALLAIS M. et Del VISCOVO, DUQUESNE de la VINELLE, OORT, SEIDENFUSS — "Options de la politique tarifaire dans les transports", Communauté Economique Européenne, Etudes, série transports, n° 1, Bruxelles 1965.

ALLEN W. B. — "Behavioral Modal Split", High Speed Ground Transportation Journal, Burham, vol. 6, n° 2, été 1972, p. 179 à 199.

ANDERSON T.W. — "An Introduction to Multivariate Statistical Analysis", Wiley, New-York, 1958, 374 pages.

ANDREFF M. et BOURGOGNE A. — "Les modèles et leur méthodologie : Application à l'étude des flux et des moyens dans le transport aérien", Etude de l'Institut du Transport Aérien, Paris, 1972, 108 pages.

AURIGNAC A. — "Etude des transports rapides sur l'axe Paris-Sud-Est", Rationalisation des choix budgétaires, mars 1972, p. 27 à 41.

BARJONET P.E. et CHICH Y. DURAND J. LHOSTE J. — "Etude des représentations sociales en matière d'actions de sécurité et d'accidents de la route", Arcueil, ONSER, juin 1975, 59 pages.

BAUDRILLARD J. — "Le Système des objets", Denoël Gonthier, Paris, 1972, 245 pages.

"Pour une critique de l'économie politique du Signe", Gallimard, Paris, 1972, 268 pages.

BECKER G.S. — "A Theory of the Allocation of Time", The Economic Journal, septembre 1965, p. 493 à 517.

BEESLEY M.E. — "The Value of Time Spent in Travelling : some new evidence", Economica, vol. XXXII, n° 126, 1965, p. 174 à 185.

BEESLEY M.E. et EVANS A. "Coûts et avantages des mesures de Sécurité Routière", Conférence Européenne des Ministres des Transports, 9ème Table Ronde, Paris, 1971, 214 pages.

BEIMBORN E.A. "Impedance Minimization Travel Choice Process", Transportation Engineering Journal of ASCE, vol. 98, n° TE2, mai 1972, p. 177 à 190.

BERKSON J. "Application of the Logistic Function to Bio-Assay", Journal of the American Statistical Association, vol. 39, 1944, p. 357 à 365.

"Why I prefer Logits to Probits", Biometrics, vol. VII, 1951, p. 327 à 339.

"Maximum Likelihood and Minimum χ^2 Estimates of the Logistic Function", Journal of the American Statistical Association, vol. 50, mars 1955, p. 130 à 162.

BERNARD-BECHARIS J. "Budget, temps et choix d'activités. Essais de contribution à une théorie pluridisciplinaire de l'action", Consommation, n° 1, janvier 1971, p. 73 à 103.

BIEBER A. "Modal Evolution of Intercity Travel Demand : a markovian analysis", thèse, Université de Californie, Berkeley, octobre 1966, 146 pages, dont un résumé est paru dans Transportation Research, vol. I, 1967, p. 331 à 337.

BLACKBURN A.J. "A Non Linear Model of Travel Demand", Studies in Travel Demand, vol. II, Mathematica, 1966, p. 47 à 89.

"A Test of a Generalized Gravity Model with Competition Terms", Studies in Travel Demand, vol. III, chapitre IV, Mathematica, p. 111 à 123.

"A Behavioral Approach to Impedance", Studies in Travel Demand, vol. IV, chapitre 3, Mathematica, 1968, p. 70 à 88.

"Estimation of the Behavioral Model", Studies in Travel Demand, vol. V, chapitre 3, Mathematica, 1969, p. 88 à 109.

BODIN J.L. "Les Ménages et la voiture particulière", Economie et Statistiques, octobre 1970, p. 43 à 48.

BONNAFOUS A. et GERARDIN B. "La Demande de transports de voyageurs en milieu urbain : méthodologie de l'analyse et de la prévision", CEMT, 32ème Table Ronde, Paris, 1976.

BONNET D. "Prospective dans les transports ferroviaires interurbains de voyageurs", Thèse de Doctorat (3ème cycle), Université de Paris IX, 1974, 206 pages.

BUNDESMINISTERS FÜR VERKEHR "Die Beurteilung von Investionen im Fernreiseverkehr der Deutschen Bundesbahn und im Luftverkehr der Bundesrepublik Deutschland bis 1980", Schriftenreihe des Bundesministers für Verkehr, 2 vol., 639 pages.

BUREAU CENTRAL DES ETUDES DES EQUIPEMENTS D'OUTRE-MER ET SERVICE DES AFFAIRES ECONOMIQUES ET INTERNATIONALES DU MINISTERE DE L'EQUIPEMENT "Enquêtes de transports routiers de voyageurs en 1967", Paris, octobre 1969.

"Enquêtes de circulation interrégionale de voyageurs routiers en 1968", Paris, vol. 1, décembre 1971, vol. 2 et 3, décembre 1972.

BURNS L.D. et GOLOB T.F. "The Role of Accessibility in Basic Transportation Choice Behavior", Transportation, vol. 5, n° 2, juin 1976, p. 175 à 198.

CANADIAN TRANSPORT COMMISSION RESEARCH BRANCH "Intercity Passenger Transport Study", septembre 1970, 103 pages.

CAUGANT G. ET ZASLAVSKY J. "Jeu automobile et espace-temps industriel", CEREBE, Paris, 1974, 95 pages.

CAZENAVE Ph. "Valeur économique du temps et théorie de la demande", Revue économique, vol. XXI, n° 5, 1971, p. 812 à 842.

CHAPULUT J.N. et FREBAULT J. PELLEGRIN J. "Le Marché des transports", Seuil, Paris, 1970, 144 pages.

COMMISSARIAT GENERAL DU PLAN D'EQUIPEMENT ET DE LA PRODUCTIVITE "Etude du transport terrestre à grande vitesse sur l'axe PARIS-SUD-EST", Commission des transports pour le VIème Plan, Groupe Fonctionnel "voyageurs", Paris, décembre 1970.

COOLEY T.F. "Forecasting the Demand for Travel in the Northeast Corridor : An Overview", prepared for the Northeast Corridor Passenger Projet, US Department of Transportation, Washington, Mathematica, 1969, 53 pages.

COSTA G. "La Demande de transport interurbain de voyageurs pour le motif tourisme", IRT, Arcueil, 1973, 2 fascicules, 206 pages.

CUISINIER J. "Risque, incertitude et choix économiques", Esprit, janvier 1965 (numéro spécial), p. 34 à 48.

CULLEY E. "Forecasting Intercity Travel", In Papers-Eleventh Annual Meeting, Transportation Research Forum, New-Orleans, octobre 1970, p. 49 à 67.

DEBOUVERIE Y. et DUPUY J.P. — "L'automobile chronophage - Détail des calculs de 'vitesse généralisée' des automobilistes", Centre de Recherche sur le Bien-être, Paris, novembre 1974, 38 pages.

DELTEIL P. — "Instinct, raison et conduite automobile", in "l'Automobile et l'homme", SPES, les Editions Ouvrières, Paris, 1968, p. 167 à 186.

DEMETSKY M.J. et HOEL L.A. — "Modal Demand : a User Perception Model", Transportation Research, vol. VI, n° 4, décembre 1972, p. 293 à 308.

DESERPA A. — "A Theory of Economics of Time", Economic Journal, vol. LXXXI, n° 324, décembre 1971, p. 828 à 846.

DONNEA F.X. de — "The Determinants of Transport Mode Choice in Dutch Cities", Rotterdam University Press, Rotterdam, 1971, 230 pages.

DUPUY J.P. — "Encombrement et valeur sociale du temps", Centre de Recherche sur le Bien-être, Paris 1973, 61 pages.

"Innovation et obsolescence psychologique : essai de formalisation dans le cadre d'une économie de marché, Cahiers du séminaire d'économétrie, CNRS, Paris, 1974, p. 123 à 142.

EISNER R. et STROTZ R.H. — "Flight Insurance and the Theory of Choice", The Journal of Political Economy, vol. LXIX, n° 4, août 1961, p. 355 à 368.

ELLIS R.H. et RASSAM P.R. — "National Intercity Travel : Development and Implementation of a Demand Forecasting Framework", Peak, Marwick Livingston and Co, Washington, 1970.

ELLIS R.H. BENNET J.C., RASSAM P.R. — "Consideration of Intermodal Competition in the Forecasting of National Intercity Travel", Highway Research Record, n° 369, 1971, p. 253 à 261.

ENDRISS J.R. et Mc LYNN J.M. SMITH D.E. — "Calibration of the Multimode Assignment Model : Choice of the Base Mode", Davidson, Talbird and Mc Lynn Inc., Bethesda, juin 1967.

FABRE J. et MICHAEL H. — "Stop ou l'automobile en question", Mercure de France, Paris, 1973, 172 pages.

FICHELET M. et R. — "Pour une approche écologique de l'utilisation des moyens de transport", DGRST.

FINNEY D.J. — "Probit Analysis", Cambridge University Press, Cambridge, 3ème édition, 1971, 333 pages.

GABBOUR I. — "Croissance urbaine et déplacements urbains", Urbanizaçaô, vol. V, juin 1970, p. 127 à 134.

GARWOOD F. "The Application of Maximum Likelihood to Dosage-mortality Curves", Biometrika, vol. XXXII, 1941, p. 46 à 58.

GENSOLLEN M. et ROCHEFORT Ph. "Modèles de choix binaires", Mémoire de DES, Université de Paris, 2 vol., 48 et 80 pages, 1969, dont un résumé a été présenté au séminaire de MM. R. ROY et E. MALINVAUD, le 16 novembre 1970.

GEORGES P. "La ville et l'automobile", in "l'Homme et la ville dans le monde actuel", Centre d'Etudes de la civilisation contemporaine, Desclée de Brouwer, Paris, 1969, p. 119 à 138.

GIROUX M. "La Tarirication des transports intérieurs", Bordas, Paris, 1973, 224 pages.

GISCARD P.H. "Conduite automobile et Sécurité", Cahiers de l'Organisme National de Sécurité Routière, vol. 1, décembre 1966, vol. 2, mars 1967, 145 pages.

GOLOB Th.F. "The Survey of User Choice of Alternate Transportation Modes", High Speed Ground Transportation Journal, vol. IV, n° 1, janvier 1970, p. 103 à 117.

GRONAU R. "The Value of Time in Passenger Transportation - The Demand for Air Travel", NBER, Occasionnal paper, n° 109, Columbia University Press, New-York, 1970, 74 pages.

GUIBERT R. "Compétition et coopération du rail et de la route", in "Les Chemins de fer et l'Europe", tome I, de Tempel, Bruges, 1969, p. 177 à 202.

"L'avenant au contrat de programme et les perspectives ouvertes à l'entreprise", Revue Générale des Chemins de Fer, septembre 1974, p. 477 à 487.

GUILLEMIN Ch. "Le prix de la route - Essai sur la tarification publique", édition Economica, Paris, 1976, 152 pages.

GWILLIAM K.M. "Transport and Public Policy", Georges Allen and Unwin, Londres, 1963, 259 pages.

HARRISSON A.J. et QUARMBY D.A. "La valeur du temps dans la planification des transports : étude critique", Conférence Européenne des Ministres des Transports, 6ème table ronde, novembre 1969, 141 pages.

HARTGEN D.T. "A Dynamic Model of Travel Mode Switching Behavior", Transportation, Amsterdam, vol. 5, n° 2, juin 1976, p. 45 à 58.

HARTGEN D.T. et TANNER G.H. "Individual Attitudes and Families Activities : A Behavorial Model of Traveler Mode Choice", High Speed Ground Transportation Journal, vol. IV, n° 3, septembre 1970, p. 439 à 467.

"Investigations of the Effect of Traveller Attitudes in a Model of Mode - Choice Behavior", Highway Research Record, n° 369, 1971, p. 1 à 14.

HENSHER D.A. et Mc LEOD P.B. STANLEY J.K. "Usefulness of Attitudinal Measures in Investigating the Choice of Travel Mode", International Journal of Transport Economics, avril 1975, p. 51 à 75.

HILL D.M. et Von CUBE H.G. "Development of a Model for Forecasting Travel Mode Choice in Urban Aeras", Highway Research Record, n° 38, 1963, p. 55 à 64.

HUTTER R. "L'équilibre budgétaire du secteur des transports", Revue de la Fédération International de l'Automobile, Rome, n° 5, 1965, p. 89 à 102.

"Force et faiblesses de l'économie de marché dans les transports", Transports, Paris, 1965, p. 172 à 179.

Préface d'une étude européenne "Le chemin de fer, mode de transport à rendement croissant", Revue Générale des Chemins de fer, janvier 1969, p. 3 à 5.

"Activités rentables et activités non rentables dans le cadre de la liberté de gestion", Revue Générale des Chemins de fer, avril 1972, p. 268 à 279.

INSTITUT D'AMENAGEMENT URBAIN DE LA REGION PARISIENNE "Analyse du choix du mode de transport par les usagers en Région Parisienne", Cahiers de l'IAURP, vol. 17 et 18, Paris, 1969.

"Enquête globale de transport de la région parisienne", Cahiers de l'IAURP, vol. 28, Paris, septembre 1972.

"Influence des infrastructures de transport sur l'urbanisation", Cahiers de l'IAURP, vol. 35, Paris, octobre 1974.

D'IRIBARNE Ph. "Les transports par chemins de fer et l'économie de marché", Cahiers de l'ISEA, tome II, n° 10, octobre 1968, p. 2043 à 2052.

"Consommation, prestige et efficacité économique", Revue d'Economie Politique, vol. LXXIX, n° 6, décembre 1969, p. 1215 à 1238.

"Les motivations sociales de la consommation et le comportement des consommateurs", Revue Economique, vol. XXI, n° 1, janvier 1970, p. 34 à 57.

D'IRIBARNE Ph. "La consommation et le bien-être - Approche psycho-socio-économique", Revue d'Economie Politique, vol. LXXXII, p. 25 à 64.

"La croissance et le bonheur", Projet, n° 73, 1973, p. 252 à 262.

"La Politique du bonheur", Seuil, Paris, 1973, 240 pages.

"Le Gaspillage et le désir : de la voiture au vélo", Fayard, Paris, 1975, 154 pages.

ISARD W. "Transportation Research : some reflexions on its development", Regional Science and Urban Economics, vol. V, n° 2, mai 1975, p. 133 à 135.

JONES-LEE M. "Valuation of Reduction in Probability of Death by Road Accident", Journal of Transport Economics and Policy, vol. III, n° 1, janvier 1969, p. 37 à 47.

JOSSE P. "Effets des interventions spécifiques de l'Etat sur l'organisation et l'efficacité des entreprises de transport", in troisième Symposium international sur la théorie et la pratique dans l'économie des transports, Rome, 1969, p. 319 à 357.

"Aspects économiques du marché des transports", Eyrolles, 1975, 278 pages.

KOCAN K.T. "A Nonlinear Time-dependent Approach to Mode- and Route-split", Transportation Research, vol. VII, 1973, p. 179 à 197.

KRAFT G. et WOHL M. "New Directions for Passenger Demand Analysis and Forecasting", Transportation Research, vol. I, n° 4, novembre 1967, p. 205 à 230.

KUNTZ H. "Anforderungen an Meinungsumfragen im Bereich des Personenverkehrwesen im Hinblick auf die Erstellung einer Nutzwertanalyse aus der Sicht des Verkehrskunden", Verkehrs-brief, Düsseldorf, février 1972, 6 pages.

LACOSTE L. "La liberté commerciale de la SNCF et ses conséquences", Revue Générale des Chemins de Fer, avril 1972, p. 280 à 285.

LANSING J.B. et BLOOD D.M. "The Changing Travel Market", Survey Research Center, Université du Michigan, Ann Arbor, mars 1964, 374 pages.

"Transportation and Economic Policy", the Free Press, New-York, 1966, 409 pages.

LAVE Ch.A. "Modal Choice in Urban Transportation : a behavioral approach", unpublished, Ph.D. dissertation, Dept. of economics, Standford University, 1968, résumé dans l'article : "A behavioral approach to modal split forecasting", Transportation Research, vol. III, n° 4, décembre 1969, p. 463 à 480.

LESOURNE J. "Le Calcul économique", Dunod, Paris, 1ère édition 1964, 252 pages, 2ème édition 1972, 464 pages.

LINDER S.B. "The Harried Leisure Class", Columbia University Press, New-York, 1970, 182 pages.

LISCO T.E. "The Value of Commuter's Travel Time : A study in urban transportation, unpublished, Ph. D. dissertation, Departement of Economics, Université de Chicago, 1967, 92 pages.

LUCET M. "Quelques aspects psycho-sociologiques de la vitesse", Bulletin de l'Organisme National de la Sécurité Routière, n° 12, mai 1965, 23 pages.

MATALON B. "Facteurs psychologiques du choix du mode de transport" in IVème Symposium international sur la théorie et la pratique dans l'économie des transports, Conférence Européenne des Ministres des Transports, La Haye, octobre 1971, 56 pages.

MAYBERRY J.P. "Structural Requirements for Abstract Mode Models of Passenger Transportation" in R.E. QUANDT "The Demand for Travel", Heath Lexington Books, Lexington Massachusetts 1970, p. 103 à 125.

Mc GILLIVRAY R.G. "Binary Choice of Urban Transport Mode in the San Francisco Bay Region" Ph. Dissertation, Departement of Economics, University de California, Standford Research Institute, mai 1970, 41 pages.

"Demand and Choice Models of modal Split", Journal of Transport Economics and Policy, vol. 4, n° 2, mai 1970, p. 192 à 207.

"Mode Split and the Value of Travel Time", Transportation Research, vol. VI, n° 4, décembre 1972, p. 309 à 316.

"Binary Choice of Urban Transport Mode in the San Francisco Bay Region", Econometrica, vol. XL n° 5, septembre 1972, p. 827 à 848.

Mc LYNN J.M. et WATKINS R.H. "Multimode Assignment Model", Davidson, Talbird et Mc Lynn Inc. 1965.

"Analysis and Calibration of a modal Allocation Model", Davidson, Talbird et Mc Lynn Inc., 1967.

Mc LYNN J.M. et WORONKA T. "Passenger Demand and Modal Split Models" Arthur Young and Co, Bethesda, Maryland, 1969.

MERCADAL G. "Choix du mode de transport, motivations psychologiques et approche économétrique", Conférence Européenne des Ministres de Transport, 3ème table ronde, Paris, 1968, 75 pages.

MERLIN P. "Les Transports parisiens", Masson, Paris, 1967, 495 pages.

MEYER J.R. et al. "The Economics of Competition in the Transportation Industries", Harvard University Press, Cambridge (Massachusetts), 1969, 359 pages.

MONSOD S.C. "A cross-sectional Model of the Demand for Rail Passenger Service in the Northeast Corridor", Studies in Travel Demand, vol. II, 2ème partie, Mathematica, 1966, p. 157 à 178.

"Further Development in the Cross-sectional Rail Passenger Model", Studies in Travel Demand, vol. III, chapitre VI, Mathematica, juillet 1967, p. 153 à 195.

"Tests and Revisions of the Relative Shares Models", Studies in Travel Demand, vol. IV, chapitre II, Mathematica, août 1968, p. 37 à 69.

"The Relative Shares Model", Studies in Travel Demand, vol. V, chapitre II, Mathematica, mai 1969.

MORICE J. "La Demande d'automobiles en France", Armand Colin, Paris, 1957, 218 pages.

MOSES L.N. et WILLIAMSON H.F. Jr. "Value of Time, Choice of Mode, and the Subsidy Issue in Urban Transportation", Journal of Political Economy, vol. LXXI, 1963, p. 247 à 264, reproduit dans R.E. QUANDT : "The Demand for Travel : Theory and Measurement".

MUEHLHAUSE C.O. "Costs, Real and Perceived, Examined in a Risk-benefit Decision Framework", OCDE, août 1972, p. 311 à 333.

NETER J. et MAYNES E.S. "On the Appropriateness of the Correlation Coefficient vith a 0, 1 Dependant Variable", Journal of American Statistical Association, vol. 65, 1970, n° 330, p. 501 à 509.

OORT C.J. "The Evaluation of Travelling Time", Journal of Transport Economics and Policy, septembre 1969, p. 279 à 286.

PACKARD V. "The Status Seekers", traduction française : "Les Obsédés du standing", Calmann-Lévy, Paris, 1960, 312 pages.

"The Waste Makers", traduction française : "L'Art du gaspillage", Calmann-Lévy, Paris, 1962, 316 pages.

PEGRUM D.F. "Transportation : Economics and Public Policy", Richard D. Irwin, Homwood (Illinois), 1969, 680 pages.

PRATT R. "A Utilitarian Theory of Travel Mode Choice", Highway Research Record, n° 322, 1970, p. 40 à 53.

QUANDT R.E. et BAUMOL W.J. "The Demand for Astract Modes : Theory and Measurement", Journal of Regional Science, vol. VI, n° 2, 1966, p. 13 à 26, reproduit dans R.E. QUANDT : "The Demand for Travel : Theory and measurement".

QUANDT R.E. et YOUNG K.H. "Cross-Sectional Travel Demand Models : Estimates and Tests", Studies in Travel Demand, vol. III, chap. 2, Mathematica, 1967.

"Estimation of Modal Splits", Transportation Research, vol. II, 1968, p. 41 à 50.

"The Demand for Travel : Theory and Measurement, Heath Lexington Books, Lexington, Massachusetts, 1970, 304 pages.

QUARMBY D.A. "Factors Affecting Commuter Travel Behaviour", Ph. D, Université de Leeds, 1966.

"Choice of Travel Mode for the Journey to work : some findings", Journal of Transport Economics and Policy, vol. I, n° 3, 1967, p. 273 à 314.

RASSAM P.R. et ELLIS R.H. BENNET J.C. "The n-Dimensional Logit Model : Development and Application", Highway Research Record, 1971 n° 369, p. 135 à 147.

REICHMAN S. et STOPHER P.R. "Towards Disaggregate, stochastic Models of Travel Mode Choice", Highway Research Record, n° 369, 1971, p. 91 à 103.

ROCHE M. "L'Homme et l'Automobile", Spes, Paris, 1968, 262 pages.

"Vivre avec l'automobile", Dunod Actualité, Paris, 1970, 139 pages.

ROGERS K.G. et TOWNSEND G.M. METCALF A.E. "Planning for the Work Journey : A generalised explanation of modal choice", Local Government Operational Research Unit, Londres, 1970, 97 pages.

ROSE M.L. "Some Problems and Prospects in Collecting Data on Travel Demand" Studies in Travel Demand, vol. III, chap. 12, Mathematica, juillet 1966.

"Further Considerations Concerning the Data on Travel Demand", Studies in Travel Demand, vol. IV, chap. 9, Mathematica, mai 1969.

ROSENSTEIN-RODAN "The Role of Time in Economic Theory", Economica, février 1934, p. 77 à 97.

ROUSSELOT M. et GLUNTZ Ph. "Etude des éléments de la demande dans le marché des transports", Conférence Européenne des Ministres des Transports, IIème symposium international sur l'économie des transports, Munich, octobre 1967, 40 pages.

S.A.R.C. (System Analysis and Research Corporation) : "Demand for Intercity, Passenger Travel in the Washington - Boston Corridor", prepared for the US Department of Commerce, P.B. 166 884, 1966, 150 pages.

SAUVY A. "Les Quatre roues de la fortune", Flammarion, Paris, 1968, 242 pages.

SCHELLING T.C. "The Life You Save May be Your Own" in Samuel B. Chase Jr (Editor) "Problems in Public Expenditure Analysis", Washington D.C., Brookings Institution, 1968, p. 127 à 176.

S.C.E.P. "Les Français et l'automobile", enquête réalisée pour le compte de la Chambre Syndicale des Constructeurs Automobiles, septembre-octobre 1971, Paris, 3 volumes.

SETEC ECONOMIE et SNCF (Direction Commerciale) "Etude des voyages en 1968", 3 vol., Paris, août 1971.

S.E.T.R.A. (Services d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes) : "Accidents corporels de la circulation routière", Annuaires de 1958 à 1974, Bagneux.

"Recensement de la circulation sur les routes nationales : 1968", Bagneux.

SHUNK G.A. et BOUCHARD R.J. "An Application of Marginal Utility to Travel Mode Choice", Highway Research Record, n° 322, 1970, p. 30 à 42.

STOPHER P.R. "A Probability Model of Travel Mode Choice for the Work Journey", Highway Research Record, n° 283, 1969, p. 57 à 65.

STOPHER P.R. "A Multinomial Extension of the Binary Logit Model for Choice of Mode or Travel", Northwestern University, Unpublished Paper, 1969.

STOPHER P.R. et LAVENDER J.O. "Disaggregate, Behavioral Travel Demand Models : Empirical tests of three hypotheses", Transportation Research Forum, 1972, p. 233 à 336.

STOPHER P.R. et LISCO T.E. "Modelling Travel Demand : A disaggregate behavioral approach, issues and applications" Transportation Research Forum, New Orleans, 1970, p. 195 à 214.

"Goodness-of-Fit Measure for Travel Demand Models Using 0, 1 Dependant variables", Discussion Paper, Northwestern University, Evanston, 1974, 24 pages.

THEIL H. "A Multinomial Extension of the Linear Logit, Model", International Economic Review, 1969, p. 251 à 259.

TIEN PHUC, N., ... "Pour une politique économique de transports", Eyrolles, Paris, 1972, 444 pages.

TOBIN J. "The Application of Multivariate Probit Analysis to Economic Survey Data" Cowles Foundation, Discussion Paper n° 1, 1955, 21 pages.

UIC (Union Internationale des chemins de fer) "Rapport sur la fonction de demande du trafic voyageurs par les chemins de fer en Europe", Comité d'Etudes Economiques, Groupe de Travail 6/B/4.

VANGREVELINGHE G. "Projection de la demande de transport en 1970", Etudes et conjoncture, INSEE, juin 1965, p. 7 à 35.

VEBLEN T. "The Theory of the Leisure Class", Mc Millan Company 1899, traduction française : "Théorie de la classe de loisir", Gallimard, Paris, 1970, 278 pages.

VILLARET J.M. "Représentations, comportements et attitudes des conducteurs avant un long trajet", Organisme National de Sécurité Routière, Bulletin n° 22, septembre 1969, 22 pages.

VILLENEUVE A. "L'Equipement des ménages en automobiles", Enquêtes transport-1967, Les collections de l'INSEE, n° 62 Série M, n° 15, 1972, dont un résumé a paru sous le titre : "l'Accoutumance à l'automobile", Economie et Statistiques, n° 23 mai 1971.

VUARIDEL R. "Le rôle du temps et de l'espace dans le comportement économique", Revue Economique, vol. X, n° 6, 1959, p. 809 à 837.

WAGON D.J. et HAWKINS A.F. — "The Calibration of the Distribution Model for the Selnec Study", Transportation Research, vol. IV, n° 1, avril 1970, p. 103 à 112.

WAGON D.J. et COLLINS Ph. — "Influence du coût, de la qualité et de l'organisation des transports terminaux et des changements de véhicules sur le choix du moyen de transport du voyageur", Rapport de la XIXème Table Ronde d'Economie des Transports, Conférence Européenne des Ministres des Transports, Paris, novembre 1972, 142 pages.

WALDMANN R. — "Transport et population urbaine", in "Grandes villes et petites villes", CNRS, Paris 1970, p. 299 à 317.

WALKER S.H. et DUNCAN D.B. — "Estimation of the Probability of an Event as a Function of several Independant Variables", Biometrika, 1967, p. 167 à 179.

WALMSLEY D.A. et WIGAN M.R. — "A Model for the Study of Modal Choice in Interurban Travel", Transport Research Assessment Group an Road Research Laboratory, 1970, p. 65 à 69.

WALRAVE M. — "L'analyse de la demande", Revue Générale des Chemins de fer, numéro spécial, janvier 1970, p. 84 à 98.

WARNER S.L. — "Stochastic Choice of Mode in Urban Travel : A study in binary choice" Northwestern University Press, Evanston, 1962, 90 pages.

"Multivariate Regression of Dummy Variables under Normality Assumptions", Journal of the American Statistical Association, n° 58, décembre 1963, p. 1054 à 1063.

WATSON P.L. et WESTIN R.B. — "Transferability of Disaggregate Mode Choice Models", Regional Science and Urban Economics", Vol. V, n° 2, mai 1975, p. 227 à 249.

WILKEN Von Dieter — "Krieterien der Verkehrsmittelwahl im Personenfernverkehr und ihre Bedeutung in Verkehrsnachfragemodellen", Internationales Vehrkehrswesen, Heft 1, janvier 1974, p. 3 à 9.

WILSON A.G. — "A Statistical Theory of Spatial Distributions Models", Transportation Research, vol. I, 1967, p. 253 à 269, reproduit dans R.E. QUANDT : "The Demand for Travel".

WILSON A.G. et HAWKINS A.F., HILL G.J., WAGON D.J. — "Calibration and Testing of the Selnec Transport Model", Regional Studies, vol. III, 1969, p. 337 à 350.

"The Use of Entropy Maximising Models in the Theory of Trip Distribution Mode Split and Route Split", Journal of Transport Economics and Policy, vol. III n° 1, 1969, p. 108 à 126.

WISLON A.G. et HAWKINS A.F., HILL G.J., WAGON D.J. "Advances and Problems in Distribution Modelling" Transportation Research, vol. IV, n° 1, avril 1970, p. 1 à 18.

WOLKOWITSCH M. "Géographie des transports", Armand Colin, Paris 1973, 381 pages.

YOUNG K.H. "Some considerations on the Choice Among Forecasting Formulas", Studies in travel Demand, vol. II, 1ère partie, Mathematica, 1966, p. 114 à 132.

"Testing the Adequacy of the Linear Abstract Model", Studies in Travel Demand, vol. III, chap. I, Mathematica, juillet 1967.

"The Abstract Mode Travel Demand Models : Estimation and Forecasting" Studies in Travel Demand, vol. IV., chap. I, Mathematica, août 1968.

"An Abstract Model Approach to the Demand for Travel", Studies in Travel Demand, vol. V, chap. I, Mathematica, mars 1969, paru sous une forme révisée dans Transportation Research, vol. III, n° 4, décembre 1969, p. 443 à 461.

LISTE DES TABLEAUX

		Pages
Tableau II.1	Répartition de la puissance des voitures nouvellement achetées par rapport à la puissance de l'ancienne voiture	62
Tableau II.2	Statistiques d'accidents : tableau comparatif d'accidents ferroviaires et routiers (automobiles) en France de 1958 à 1974	78-79
Tableau II.3	Comparaison des risques ferroviaires et routiers	81
Tableau II.4	Comparaison des images de sécurité des divers modes de transport	87
Tableau II.5	Taux d'émission de voyages ferroviaires en fonction du revenu annuel net de la famille	113
Tableau II.6	Taux d'émission de voyages ferroviaires en fonction de l'âge et du sexe du voyageur	114
Tableau II.7	Taux d'émission de voyages ferroviaires domiciliés en France par habitant, en fonction de la catégorie socio-professionnelle en 1968 et 1961	115
Tableau V.1	La fusion des deux enquêtes	193
Tableau V.2	La répartition des personnes interrogées sur les douze liaisons de l'échantillon	194
Tableau V.3	Le revenu par unité de consommation	196
Tableau VI.1	Modèle 1	212
Tableau VI.2	Modèle 2	213
Tableau VI.3	Modèle 3	214
Tableau VI.4	Modèle 4	216
Tableau VI.5	Modèle 5	217
Tableau VI.6	Modèle 6	222
Tableau VI.7	Modèle 7	228
Tableau VI.8	Modèle 8	229

Tableau VI.9	Modèle 9	232-233
Tableau VI.10	Modèle 10	234-235
Tableau VI.11	Modèle 11	236-237
Tableau VI.12	Modèle 12	238-239
Tableau VI.13	Test de comparaison des coefficients de l'analyse logit selon le motif	246
Tableau VI.14	Composition de l'échantillon en fonction du motif et de la catégorie socio-professionnelle	246
Tableau VI.15	Analyse logit par relation modèle 13	248
Tableau VI.16	Analyse logit par relation modèle 14	249
Tableau VII.1	Différence des moyennes des fréquences ferroviaires offertes	251
Tableau VII.2	Analyse du choix de la classe modèle C1	254-255
Tableau VII.3	Analyse du choix de la classe modèle C2	256-257
Tableau VII.4	Analyse du choix de la classe modèle C3 (motif professionnel)	258
Tableau VII.5	Analyse du choix de la classe modèle C3 (motif personnel)	259
Tableau VII.6	Analyse du choix de la classe. Test de comparaison des coefficients de l'analyse logit selon le motif	263
Tableau VII.7	Caractéristiques moyennes selon la classe et le motif	263
Tableau VII.8	Elasticité du choix de la première classe par rapport au revenu	264
Tableau VII.9	Répartition des voyageurs entre la première classe et la deuxième classe selon le revenu de la famille et le motif du voyage	264
Tableau VII.10	Contribution des axes factoriels à la dispersion des modes de transport terminaux	273
Tableau VII.11	Choix du mode de transport terminal Modèles T1 et T2	275
Tableau VII.12	Modèles 100 et 102 (Analyse logit)	278
Tableau VII.13	Modèles 103 et 105 (Analyse logit)	279
Tableau VII.14	Modèles 106 et 107 (Analyse logit)	280
Tableau VII.15	Modèle 108 (Analyse logit)	281

Tableau VII.16	Test de comparaison des coefficients de l'analyse logit selon le motif	281
Tableau VII.17	Modèles 201 et 202	288
Tableau VII.18	Modèles 203 et 204	289
Tableau VII.19	Modèles 205 et 206	290
Tableau VII.20	Modèles 207 et 208	291
Tableau VII.21	Influence des coûts de transport. Test de comparaison des coefficients de l'analyse logit selon le motif	293
Tableau VII.22	Modèle 301	297
Tableau VII.23	Modèle 302	298
Tableau VII.24	Modèle 303	299
Tableau VII.25	Modèle 304	300
Tableau VII.26	Modèle 305	301
Tableau VII.27	Estimation de la valeur du gain de temps	306
Tableau VII.28	Test de comparaison des coefficients de différence de temps et de différence de coûts selon les classes de revenu	305-306

LISTE DES GRAPHIQUES

		Pages
Graphique II.1	Evolution du rayon moyen de la ville de Berlin	97
Graphique II.2	Evolution du taux d'accroissement de la population et des surfaces urbainisées en Angleterre et au Pays de Galles	98
Graphique II.3	Relation taux de motorisation - densité des villes-centre dans les agglomérations de plus de 500 000 habitants aux E.U. en 1960	102
Graphique II.4	Relation taux de motorisation - densité des villes-centre dans les agglomérations de plus de 200 000 habitants en France en 1968	103
Graphique II.5	Taux d'équipement automobile des ménages de la région parisienne en fonction du revenu et de leur zone d'habitation	105
Graphique II.6	Taux de motorisation actuelle des différentes classes d'âge en fonction du temps	109
Graphique II.7	Evolution comparée du nombre de ménages équipés d'une ou plusieurs automobiles et du trafic ferroviaire (trafic banlieue exclu)	111
Graphique VI.1	Probabilité du choix du train en fonction du revenu de la famille	224
Graphique VI.2	Probabilité du choix du train en fonction de la distance	247
Graphique VII.1	Probabilité du choix de la première classe en fonction du revenu de la famille d'un voyageur dont les caractéristiques seraient les caractéristiques moyennes selon le motif	265
Graphique VII.2	Choix du mode de transport terminal - Motif professionnel - Analyse des correspondances facteurs 1 et 2	268
Graphique VII.3	Choix du mode de transport terminal - Motif professionnel - Analyse des correspondances facteur 1, facteur 3	269

Graphique VII.4 Choix du mode de transport terminal - Motif personnel - Analyse des correspondances : facteur 1, facteur 2 270

Graphique VII.5 Choix du mode de transport terminal - Motif personnel - Analyse des correspondances : facteur 1, facteur 3 271

Graphique VII.6 Calcul de la valeur du temps 303

TABLE DES MATIÈRES

Pages

INTRODUCTION 3

1 - Actualité, originalité et intérêt du choix entre le train et l'automobile 5

2 - Plan de l'étude 7

PREMIÈRE PARTIE - ANALYSE ÉCONOMIQUE DU COMPORTEMENT DU VOYAGEUR 11

CHAPITRE I - ÉTUDE MICRO-ÉCONOMIQUE 15

I - L'INSUFFISANCE DE L'APPROCHE TRADITIONNELLE 16

1 - L'introduction tardive de la contrainte de temps 16
2 - Les premières modèlisations et leur application dans le domaine des transports 18

II - LA VALEUR DU TEMPS ELEMENT ESSENTIEL DU CHOIX DU MODE DE TRANSPORT 22

1 - L'intérêt de l'approche de BECKER 22
2 - La valeur du temps facteur de production 24
3 - L'analyse de GRONAU 31

III - PROLONGEMENTS AU MODELE DE BECKER 35

1 - Le temps comme facteur autonome de satisfaction 35
2 - L'influence du confort 43
3 - Le revenu, composant essentiel de la valeur du temps 47

CHAPITRE II - L'ENVIRONNEMENT DU CHOIX 53

I - LES FACTEURS PSYCHO-SOCIOLOGIQUES DU CHOIX 55

1 - La vitesse permissive de liberté et de puissance 55
2 - La part de l'ostentation dans le choix 59

II - LE RISQUE DE TRANSPORT : UN ELEMENT DU CHOIX DIFFICILE A CERNER 75

1 - Difficulté de la comparaison statistique 76
2 - Le risque de transport et la notion de risque négligeable 81
3 - La remise en cause de l'aversion du risque 86

III - L'ENVIRONNEMENT SOCIO-ECONOMIQUE 95

1 - L'urbanisation et le choix du mode de transport 95
2 - Influence des structures par revenu, par âge et par catégorie socio-professionnelle sur la motorisation et la clientèle ferroviaire 106

DEUXIÈME PARTIE - MODÈLES ÉCONOMÉTRIQUES ET CHOIX DU MODE DE TRANSPORT 117

CHAPITRE III - LES MODÈLES AGRÉGÉS 121

I - MODELES AGREGES SEQUENTIELS 124

1 - Le modèle de WILSON 124
2 - Les modèles dits de répartition modale 127
3 - Un modèle de pure répartition modale : le modèle dynamique d'Alain BIEBER 138

II - MODELES AGREGES DIRECTS 141

1 - Les modèles à choix de mode spécifique 141
2 - Les modèles directs fondés sur la notion de mode abstrait 148
3 - Les modèles à répartition modale intégrée 155

CHAPITRE IV - LES MODÈLES DÉSAGRÉGÉS 161

I - TROIS METHODES D'ANALYSE DES MODELES DESAGREGES 163

1 - L'analyse discriminante 163
2 - L'analyse probit 167
3 - L'analyse logit 173

II - ETUDE COMPARATIVE DES TROIS ANALYSES 175

1 - La proximité des analyses probit et logit 175
2 - Le lien entre l'analyse discriminante et la régression 177
3 - Où les analyses probit et logit s'avèrent supérieures à l'analyse discriminante 180

TROISIÈME PARTIE - ANALYSE ÉCONOMÉTRIQUE DE LA CONCURRENCE RAIL-ROUTE DANS LES TRANSPORTS INTERURBAINS FRANÇAIS 185

CHAPITRE V - LA CONSTITUTION DES DONNÉES 191

I - LES VARIABLES CARACTERISANT L'INDIVIDU 195

II - LES VARIABLES CARACTERISANT LE VOYAGE 198

III - LES VARIABLES CARACTERISANT L'OFFRE DE TRANSPORT 201

CHAPITRE VI - LA STRUCTURE DE LA CONCURRENCE RAIL-ROUTE 209

I - L'INFLUENCE DES CARACTERISTIQUES DU VOYAGEUR SUR LE CHOIX DU MODE DE TRANSPORT 210

1 - La recherche d'un modèle explicatif 210
2 - L'interprétation des résultats 218

II - L'INFLUENCE DES CARACTERISTIQUES DU VOYAGE SUR LE CHOIX DU MODE DE TRANSPORT 225

1 - Les modèles explicatifs utilisés 225
2 - L'interprétation des résultats des modèles globaux 230
3 - Divergences observées en fonction du motif du voyage 241
4 - La stabilité du caractère explicatif des variables sur l'ensemble des liaisons 250

CHAPITRE VII - LES VARIABLES D'ACTION : ANALYSE EN TERMES DE TEMPS ET DE COÛTS 251

I - ETUDES PRELIMINAIRES 253

1 - Le choix de la classe des voyageurs motorisés 253
2 - Le choix du mode terminal 266

II - L'INFLUENCE DU TEMPS DE TRANSPORT 277

1 - La difficulté de l'approche 277
2 - Analyse des résultats 283

III - L'INFLUENCE DES COUTS DE TRANSPORT 285

1 - La difficulté de l'approche 285
2 - Analyse des résultats 287

IV - L'INFLUENCE DE LA VALEUR DU GAIN DE TEMPS DANS LE CHOIX DU MODE DE TRANSPORT 294

1 - Principe et modèles 294
2 - La valeur du gain de temps, variable explicative du choix 302

CONCLUSION GÉNÉRALE 307

BIBLIOGRAPHIE 315

LISTE DES TABLEAUX 329

LISTE DES GRAPHIQUES 333

TABLE DES MATIÈRES 335

Composé par Economica, 49, rue Héricart, 75015 PARIS
Imprimé en France. — Imprimerie JOUVE, 17, rue du Louvre, 75001 PARIS
Dépôt légal : 4e trimestre 1980

DANS LA MEME COLLECTION

1. ***LES AUTOROUTES ET LE DEVELOPPEMENT REGIONAL***
   par François Plassard
   Un sujet important et difficile, traité dans un ouvrage de portée très générale sur l'espace.

2. ***EVALUER LA POLITIQUE DES TRANSPORTS***
   par E. Bloy - A. Bonnafous - J.M. Cusset - B. Gérardin
   Une analyse du calcul économique en vigueur et des propositions de critères de redistribution et d'environnement.

3. ***LA NATURE ET LA VILLE***
   par Jean Baptiste Vaquin
   La première tentative globale d'une approche économique de ce problème.

4. ***LE SECTEUR DES TRANSPORTS***
   par Maurice Bernadet et Gilles Joly
   L'essentiel des données physiques, juridiques et économiques du secteur.

5. ***ELEMENTS D'ECONOMIE IMMOBILIERE***
   par Jean-François Goux
   Un ouvrage de base pour la compréhension de la construction de la ville.

6. ***DYNAMIQUE URBAINE***
   par Jay W. Forrester
   L'édition française d'un classique de l'analyse des systèmes.

7. ***LE RENOUVEAU DU CHEMIN DE FER***
   par Michel Chesnais
   Une analyse rigoureuse des échanges ferroviaires dans le système des transports.

8. ***L'ENTREPRISE DANS L'ESPACE URBAIN***
   par Philippe Aydalot
   La première analyse de la localisation et du déplacement des activités dans l'espace urbain.

9. ***TRANSPORTS ET SOCIETE***
   Colloque de Royaumont

ISSN 0150-2336

ISBN 2-7178-0326-2